This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

**Usage guidelines**

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

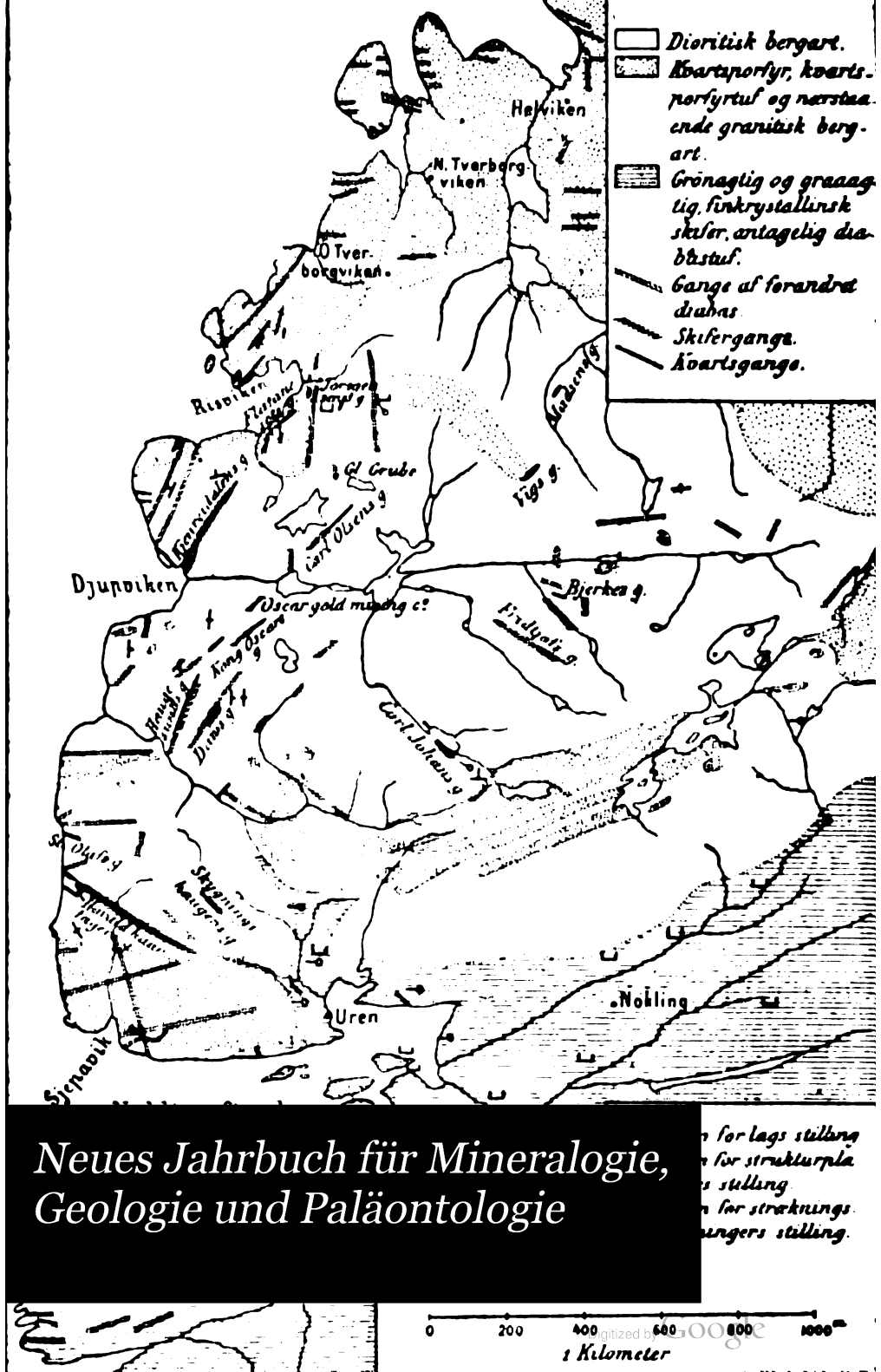
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

**About Google Book Search**

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

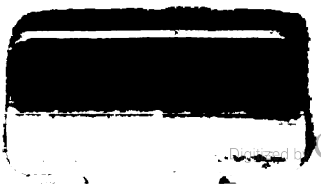



*Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*

Digitized by Google

BER Y
LIBR RY
UNIVERSITY OF
CALIFORNIA

EARTH
SCIENCES
LIBRARY



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

# Neues Jahrbuch

für

# Mineralogie, Geologie und Palaeontologie.

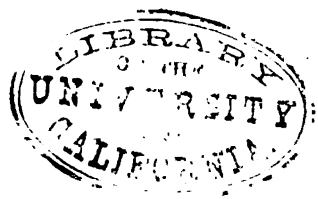
Unter Mitwirkung einer Anzahl von Fachgenossen

herausgegeben von

**M. Bauer, W. Dames, Th. Liebisch**
in Marburg. in Berlin. in Göttingen.

## V. Beilage-Band.

Mit Tafel I—XXIII und mehreren Holzschnitten.




STUTTGART.
E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung (E. Koch).
1887.

Digitized by Google

Q.E61
N42
v.5
EARTH
SCIENCES
LIBRARY

38479

K. Hofbuchdruckerei Zu Guttenberg (Carl Grüninger) in Stuttgart.

Digitized by Google

# Inhalt.


Seite

Born, Max: Beiträge zur Bestimmung der Lichtbrechungsverhältnisse doppeltbrechender Krystalle durch Prismenbeobachtungen. (Mit Taf. I. II.) . 1

Bosscha, J., jun.: Ueber den Meteorit von Karang-Modjo oder Magetan auf Java. (Mit Taf. III a—V.) 126

Brauns, R.: Studien über den Palaeopikrit von Amelose bei Biedenkopf und dessen Umwandlungsproducte. (Mit 3 Holzschnitten) . . . . . 275

Busz, Karl: Beiträge zur Kenntniss des Titanits. (Mit Taf. X—XII) . . . . . 330

Cohen, E.: Geognostisch-petrographische Skizzen aus Süd-Afrika. II. (Mit Taf. VIII. IX.) . . . . . 195

Hecht, Benno: Beiträge zur Krystallberechnung. (Mit Taf. XXI. XXII.) . . . . . 579

Minnigerode, B.: Untersuchungen über die Symmetrieverhältnisse der Krystalle . . . . . 145

Pulfrich, C.: Ueber die Totalreflexion an doppeltbrechenden Krystallen. (Mit Taf. VI. VII.) . . 167

Reusch, Hans: Geologische Beobachtungen in einem regionalmetamorphosirten Gebiet am Hardangerfjord in Norwegen. (Mit 13 Holzschnitten.) . . . . 52

Rüdemann, Rud.: Die Contacterscheinungen am Granit der Reuth bei Gefrees. (Mit Taf. XXIII.) . . . 643

Schuster, M.: Mikroskopische Beobachtungen an californischen Gesteinen. (Mit Taf. XVII—XX.) . . 451

Voigt, W.: Bestimmung der Elasticitäts-Constanten von Beryll und Bergkrystall. (Mit Taf. III.) . . . 68

Williams, J. Francis: Ueber den Monte Amiata in Toscana und seine Gesteine. (Mit Taf. XIII—XVI) 381


Digitized by Google

Digitized by Google

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

# Beiträge zur Bestimmung der Lichtbrechungsverhältnisse doppeltbrechender Krystalle durch Prismenbeobachtungen.

Von

**Max Born** in Königsberg i. Pr.

Mit Tafel I. II.

## Einleitung.

Die nachstehenden Studien enthalten Anwendungen der von Hrn. Th. Liebisch[1] aus den Gesetzen der Doppelbrechung abgeleiteten Relationen zur Bestimmung der Hauptlichtgeschwindigkeiten doppeltbrechender Krystalle an Prismen von beliebiger krystallographischer Orientirung.

Bilden an einem homogenen anisotropen Mittel, welches von einem homogenen isotropen Mittel umgeben ist, zwei Flächen $\mathfrak{G}$ und $\mathfrak{G}'$ einen solchen Winkel, dass ein auf $\mathfrak{G}$ fallender Lichtstrahl durch $\mathfrak{G}'$ auszutreten vermag, so kann durch Messung des Prismenwinkels A, des Einfallswinkels i der eintretenden Wellenebene und der Ablenkung D der austretenden Wellenebene für eine homogene Lichtsorte die Fortpflanzungsgeschwindigkeit $\mathfrak{p}$ der gebrochenen Welle im Krystall bestimmt werden.

[1] Th. Liebisch: Über die Bestimmung der Lichtbrechungsverhältnisse doppeltbrechender Krystalle durch Prismenbeobachtungen. Dies. Jahrbuch 1886. 1. 14—34.



Digitized by Google

Bedeutet r den Winkel zwischen der gebrochenen Wellenebene $\mathfrak{W}$ und der Fläche $\mathfrak{G}$, $\psi$ die Neigung der Normale von $\mathfrak{W}$ zur Halbirungsebene des inneren Prismenwinkels A, so bestehen folgende Relationen:

$$\tan\left(r-\frac{A}{2}\right)=\tan\frac{A}{2}\tan\left(i-\frac{A+D}{2}\right)\cot\frac{A+D}{2} \tag{1}$$

$$\psi=\frac{\pi}{2}+r-\frac{A}{2} \tag{2}$$

$$p=\frac{\sin r}{\sin i} \tag{3}$$

Mit Hülfe derselben ist man im Stande, aus den durch Beobachtungen gegebenen Winkeln A, i, D das zugehörige Werthepaar $\psi$, $p$ zu berechnen.

Durch Bestimmung einer gewissen Anzahl von Werthepaaren $\psi$, $p$ kann man, wie Hr. Th. Liebisch a. a. O. gezeigt hat, bei bekannter krystallographischer Orientirung der Prismenflächen $\mathfrak{G}$ und $\mathfrak{G}'$ die Hauptlichtgeschwindigkeiten eines optisch ein- oder zweiaxigen Krystalls an einem Prisma desselben ermitteln.

Ich habe nun im Folgenden die von Hrn. Th. Liebisch für optisch einaxige Krystalle erhaltenen Relationen zunächst benutzt, um an zwei beliebig geschnittenen Prismen des Dolomits von Traversella, welche sich in dem hiesigen mineralogischen Institut befinden, die Hauptlichtgeschwindigkeiten für Na-, Li-, Tl-Licht zu bestimmen.

Sodann wende ich mich einer eingehenden Betrachtung der durch Symmetrieeigenschaften ausgezeichneten Fälle der Prismen optisch einaxiger Krystalle zu (a. a. O. 22) und erörtere, indem ich einerseits von den Relationen für einen beliebigen Einfallswinkel, andrerseits von den entsprechenden für das Minimum der Ablenkung geltenden Relationen ausgehe, die praktisch wichtige Frage, welchen Einfluss eine geringe Abweichung der optischen Axe von der in jenen Symmetriefällen vorgeschriebenen Lage auf das Endresultat ausüben würde.

Ich habe ferner aus den von Hrn. Th. Liebisch für optisch zweiaxige Krystalle aufgestellten Relationen, welche im allgemeinsten Falle bei einem beliebig geschnittenen Prisma eine fünfdeutige Lösung ergeben, durch Einführung von Nähe-

Digitized by Google

rungswerthen eine Methode zur eindeutigen Bestimmung der drei Hauptlichtgeschwindigkeiten abgeleitet. Für die durch Symmetrieeigenschaften ausgezeichneten Fälle vereinfachen sich auch hier jene Gleichungen und führen stets zu einem eindeutigen Resultat. Nach diesem Verfahren bestimmte ich die Hauptlichtgeschwindigkeiten im Anglesit an einem von natürlichen Flächen gebildeten Prisma.

Sind die in diesen Symmetriefällen vorgeschriebenen Bedingungen nicht strenge erfüllt, so muss man auf die allgemeinen Gleichungen zurückgehen, kann aber meist auf einfache Weise zu Näherungswerthen gelangen; ich habe den Weg zur Ermittelung derselben insbesondere an den Messungen des Hrn. Glazebrook an einem Prisma des Aragonits durchgeführt.

Zu meinen Messungen benutzte ich ein grosses Fuess'sches Reflexionsgoniometer[1], dessen Theilkreis in Sechstelgrade getheilt war. Mit dem Beobachtungsfernrohre und dem Collimatorrohre sind zwei Mikroskope fest verbunden, welche Mikrometerschrauben mit Trommeltheilung tragen; diese gestatten zehn Sekunden direkt abzulesen und die einzelnen durch Schätzung zu gewinnen.

Bei allen Beobachtungen wurde das Websky'sche Signal angewendet, vor dem sich eine Hülse mit einer Sammellinse zur Beleuchtung desselben und zur Beseitigung des Nebenlichtes befand (a. a. O. 327). Als Lichtquelle diente ein Bunsen'scher Breitbrenner, in welchem Kochsalz, Lithium- und Thalliumsulfat, in Platingaze eingeschmolzen, zum Verdampfen gebracht wurde[2].

Auch an dieser Stelle möge es mir gestattet sein, den Herren Prof. Dr. Liebisch und Dr. Hecht für die freundliche Unterstützung, welche sie mir während meiner Studienzeit zu Theil werden liessen, den aufrichtigsten Dank auszusprechen.

---

[1] Vgl. Th. Liebisch: Die krystalloptischen Apparate. In: Bericht über die Berl. Gewerbeausst. i. J. 1879, S. 322. — Dies. Jahrb. 1881, 2, 3.

[2] Vgl. Laspeyres: Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1882, 79.



Digitized by Google

## Optisch einaxige Krystalle.

Zu jeder Wellenebene mit dem Einfallswinkel i erhält man zwei gebrochene, eine gewöhnliche und eine ungewöhnliche Wellenebene, deren Winkel mit der Fläche G mit r und $r_u$ und deren Ablenkungen nach dem Austritt aus dem Prisma mit D und $D_u$ bezeichnet werden sollen; $\psi$ sei die Neigung der Normale der gebrochenen ungewöhnlichen Welle zur Halbirungsgeraden des inneren Prismenwinkels A, $\Theta$ ihre Neigung gegen die optische Axe, p ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit in dem Prismenquerschnitt, o und e die Hauptlichtgeschwindigkeiten des Krystalls; ferner bedeute $\tau$ die Neigung der optischen Axe gegen den Prismenquerschnitt, $\varrho$ die Neigung des Hauptschnittes der Prismenkante zur Halbirungsebene des inneren Prismenwinkels.

Mit Rücksicht auf diese Bezeichnung bestehen alsdann die Relationen[1]:

$$\tan\left(r - \frac{A}{2}\right) = \tan\frac{A}{2}\tan\left(i - \frac{A+D}{2}\right)\cot\frac{A+D}{2} \tag{4}$$

$$\frac{1}{o} = \omega = \frac{\sin i}{\sin r} \tag{5}$$

$$\tan\left(r_u - \frac{A}{2}\right) = \tan\frac{A}{2}\tan\left(i - \frac{A+D_u}{2}\right)\cot\frac{A+D_u}{2} \tag{6}$$

$$\frac{1}{p} = n = \frac{\sin i}{\sin r_u} \tag{7}$$

$$\psi = \frac{\pi}{2} - \frac{A}{2} + r_u \tag{8}$$

$$\cos\Theta = -\cos\tau\cos(\varrho - \psi) \tag{9}$$

$$p^2 = \frac{1}{n^2} = o^2\cos^2\Theta + e^2\sin^2\Theta \tag{10}$$

$$\frac{1}{e} = \varepsilon = \frac{n\sin\Theta}{\cos\chi}\ , \quad \sin\chi = \frac{n\cos\Theta}{\omega} \tag{11}$$

### Dolomit von Traversella.

**Prisma I** (vgl. Taf. I Fig. 1) ist aus einem Spaltungsrhomboëder derart geschnitten, dass die Fläche I nahezu parallel zu der Rhomboëderfläche $R_2$ ist, während die Flächen a und b Theile der natürlichen Spaltflächen $R_0$ und $R_1$ bilden. Die Fläche II ist annähernd parallel zu der Durchschnittskante

[1] Über die Ableitung dieser Relationen vgl. Th. Liebisch: Über die Best. d. Lichtbrechungsverh. etc. S. 19—21.

Digitized by Google

der Flächen $R_1$ und $R_2$. Die Richtung der optischen Axe ist gegeben durch die Gerade $ZZ_0$.

Die chemische Zusammensetzung ist nach Hrn. C. BAERWALD:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $CaO$ | = 29.71 % | $CaCO_3$ | = 53.05 % |
| $MgO$ | = 17.95 „ | $MgCO_3$ | = 37.69 „ |
| $FeO$ | = 6.04 „ | $FeCO_3$ | = 9.73 „ |
| $CO_2$ | = 46.20 „ | | 100.47 % |
| | 99.90 % | | |

Die Messung des Prismenwinkels ergab:

$$(I\,II) = 153^0\ 9'\ 23''.65$$
$$A = 26^0\ 50'\ 36''.35$$

Zur Messung der übrigen Winkel zwischen den Flächen I, II, a, b mussten die Spaltflächen a, b bis auf sehr kleine Flächenstücke abgeblendet werden, da sie nicht ganz eben waren. Trotzdem lieferte die Fläche b auch dann noch zwei Reflexe, von denen der hellere zur Einstellung benutzt wurde.

Die folgenden Werthe sind das Mittel aus je zehn Beobachtungen bei der Zimmertemperatur $T = 20^0$—$21^0.3$ C.

$$\begin{vmatrix} (I\,b) &= 74^0\ 31'\ 17''.1 \\ (II\,b) &= 78\ 43\ 22.5 \\ (a\,b) &= 73\ 36\ 27.2 \\ (I\,a) &= 74\ 6\ 32.9 \\ (II\,a) &= 96\ 24\ 18.3 \end{vmatrix}$$

Zwischen diesen Winkeln und (I II) besteht die Relation[1]:

$$\begin{vmatrix} 1 & \cos(I\,b) & \cos(II\,b) & \cos(a\,b) \\ \cos(I\,b) & 1 & \cos(I\,II) & \cos(I\,a) \\ \cos(II\,b) & \cos(I\,II) & 1 & \cos(II\,a) \\ \cos(a\,b) & \cos(I\,a) & \cos(II\,a) & 1 \end{vmatrix} = 0$$

Man findet durch Eintragen der Winkelwerthe für diese Determinante den Werth —0.0000172. Die geringe Abweichung von Null ist wohl dem Umstand zuzuschreiben, dass die Temperatur bei den einzelnen Messungen nicht absolut constant war.

Wir legen, um die krystallographische Orientirung der Prismenflächen durchzuführen, alle Geraden und Ebenen durch den Einfallspunkt O in der brechenden Prismenkante und

[1] Vgl. TH. LIEBISCH: Geometrische Krystallographie. Leipzig 1881, 77, 78.

Digitized by Google

beschreiben um ihn als Mittelpunkt eine Constructionskugel. Fig. 2 zeigt in stereographischer Projektion die Pole der Prismenflächen I, II und der Rhomboëderflächen a, b, den Schnittpunkt Z der krystallographischen Hauptaxe mit der Kugel und die durch je zwei Pole gelegten grössten Kugelkreise; ZV ist die Projection des auf ab senkrecht stehenden Kugelkreises, welcher nahezu als Verlängerung von IZ auftritt. Wir führen ferner ein rechtwinkliges Coordinatensystem X'Y'Z' mit dem Mittelpunkte O derart ein, dass die Z'-Axe mit der Prismenkante zusammenfällt und über der Projectionsebene positiv ist und dass die Y'-Axe den äusseren, die X'-Axe den inneren Prismenwinkel halbirt; die positive Richtung beider wird durch die Pfeile angezeigt. Bedeutet endlich HH' die Durchschnittsgerade des Hauptschnittes ZZ' der Prismenkante mit der Projectionsebene, so ist die Lage der krystallographischen Hauptaxe in Bezug auf die Prismenflächen durch die beiden Winkel

$$(ZH) = \tau \quad , \quad (X'OH') = \varrho$$

bestimmt. $\varrho$ soll von X' in dem Sinne positiv gerechnet werden, in welchem die positive X'-Axe auf dem kürzesten Wege in die positive Y'-Axe übergeführt wird. Die Werthe für $\tau$ und $\varrho$ findet man auf folgende Weise:

In dem rechtwinkligen Dreieck ZaV ist

$$(aV) = \tfrac{1}{2}(ab) = 36^\circ\,48'\,13''.6 \quad , \quad (aZV) = 60^\circ$$

folglich

$$(aZ) = 43^\circ\,46'\,8''.77 = (bZ) \quad , \quad (ZaV) = 38^\circ\,38'\,33''.21 = (ZbV)$$

Ferner sind in dem Dreieck Iab die Seiten (Ia), (Ib), (ab) bekannt, mithin

$$(Iab) = 78^\circ\,8'\,30''$$

Alsdann ist

$$(IaZ) = (Iab) - (Zab) = 39^\circ\,29'\,56''.79$$

Darauf findet man aus dem Dreieck IaII, in welchem die drei Seiten gegeben sind,

$$(IaII) = 154^\circ\,21'\,52''.17 \quad , \quad (IIa) = 67^\circ\,8'\,51''.58 \quad , \quad (aIII) = 72^\circ\,12'\,9''.16$$

Nun ist

$$(ZaII) = (IaII) - (IaZ) = 114^\circ\,51'\,55''.38;$$

folglich ergiebt sich aus dem Dreieck ZaII, in welchem (IIa), (aZ), (ZaII) bekannt sind,

$$(IIZ) = 111^\circ\,41'\,31''.30 \quad , \quad (ZIIa) = 42^\circ\,29'\,23''.74;$$

Digitized by Google

dann ist

$$(HIIZ) = (IIa) - (ZIIa) = 24^\circ\,39'\,27''.84;$$

demnach kennt man in dem Dreieck ZaI die Werthe von (Ia), (aZ), (ZaI). Daraus folgt

$$(IZ) = 44^\circ\,40'\,29''.76 \quad , \quad (aIZ) = 38^\circ\,44'\,31''.67$$

Mithin ist

$$(HIZ) = (aIII) - (aIZ) = 33^\circ\,27'\,37''.49$$

Endlich kennt man in dem rechtwinkligen Dreieck HIIZ (IIZ), (HIIZ); folglich ist

$$\tau = 22^\circ\,48'\,30''.06$$

Zur Controle berechnet man noch aus dem rechtwinkligen Dreieck HIZ, in welchem (HIZ), (IZ) bekannt sind,

$$\tau = 22^\circ\,48'\,30''.06$$

Die aus denselben beiden Dreiecken fliessenden Werthe

$$(IIH) = 113^\circ\,38'\,20''.05 \quad , \quad (IH) = 39^\circ\,31'\,3''.57$$

müssen der Gleichung genügen

$$(IIH) + (IH) - (III) = 0$$
$$153^\circ\,9'\,23''.62 - 153^\circ\,9'\,23''.65 = -0''.03$$

Schliesslich erhalten wir

$$\left|\begin{array}{l} \varrho = \quad (IIH) - \tfrac{1}{2}(III) = 37^\circ\,3'\,38''.22 \\ \varrho = -(IH) + \tfrac{1}{2}(III) = 37\ 3\ 38.25 \end{array}\right.$$

Es sind also der weiteren Rechnung die Werthe zu Grunde zu legen:

$$\tau = 22^\circ\,48'\,30''.06 \quad , \quad \varrho = 37^\circ\,3'\,38''.24$$

Bei der Messung des Einfallswinkels i und der Ablenkungen D und $D_u$ war die Fläche II Eintrittsfläche, die Fläche I Austrittsfläche des Lichtes. Alsdann wurden bei festgeklemmtem Theilkreis zunächst der reflectirte, dann der directe und schliesslich die beiden gebrochenen Strahlen auf das Fadenkreuz des Beobachtungsfernrohrs mit zehnmaliger Wiederholung eingestellt. Das gegen den Verticalfaden des Oculars von rechts oben nach links unten geneigte Bild des ausserordentlichen Strahls war von merklich geringerer Intensität als das Bild des ordentlichen Strahls. Doch konnte die Einstellung mit ziemlicher Genauigkeit auf das Centrum des Bildes ausgeführt werden. $T = 18^\circ.8$—$20^\circ$ C.

| | Li | Na | Tl |
|---|---|---|---|
| i | $= 44^\circ\,58'\,41''.12$ | $42^\circ\ 0'\ 5''.40$ | $44^\circ\,58'\,41''.12$ |
| D | $= 21\ 38\ 18.20$ | $21\ 10\ 9.25$ | $21\ 54\ 10.20$ |
| $D_u$ | $= 18\ 50\ 23.80$ | $18\ 14\ 28.55$ | $19\ 0\ 47.35$ |

Digitized by Google

Mit diesen Werthen erhält man aus (4)—(7):

| | | | |
|---|---|---|---|
| $r$ = | 24° 46′ 3″.46 | 23° 17′ 42″.31 | 24° 37′ 23″.87 |
| $r_u$ = | 26 23 59.22 | 24 54 13.49 | 26 17 34.48 |
| $\omega$ = | 1.68721 | 1.69205 | 1.69647 |
| $v$ = | 0.592696 | 0.590999 | 0.589458 |
| $n$ = | 1.58971 | 1.58907 | 1.59571 |
| $p$ = | 0.629045 | 0.629299 | 0.626680 |

Da die Lichstrahlen auf die Fläche II als Eintrittsfläche fielen, so wird in (8)

$$\psi = \frac{3\pi}{2} - \left(r_u - \frac{A}{2}\right)$$

also für die drei Lichtsorten:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\psi$ = | 257° 1′ 18″.96 | 258° 31′ 4″.69 | 257° 7′ 43″.70 |
| $\varrho - \psi$ = | − 219 57 40.72 | − 221 27 26.45 | − 220 4 5.46 |

und nach (9) und (11):

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\Theta$ = | 45° 2′ 43″.93 | 46° 18′ 10″.14 | 45° 8′ 5″.94 |
| $\varepsilon$ = | 1.50762 | 1.50981 | 1.51174 |
| $e$ = | 0.663299 | 0.662336 | 0.661491 |

Um die Richtigkeit der Messungen und der Rechnung zu prüfen, wurden die beiden Hauptlichtgeschwindigkeiten vermittelst eines anderen Einfallswinkels bestimmt; es ergaben sich für T = 21°.3—22°.5 C. die Werthe:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $i$ = | 53° 24′ 56″.45 | 53° 24′ 56″.45 | 53° 24′ 56″.45 |
| $D$ = | 23 54 41.55 | 24 3 21.80 | 24 11 9.05 |
| $D_u$ = | 21 17 50.65 | 21 23 30.25 | 21 28 58.60 |
| $r$ = | 28 25 12.31 | 28 19 48.57 | 28 14 59.39 |
| $r_u$ = | 30 8 20.09 | 30 4 25.43 | 30 0 39.36 |
| $\omega$ = | 1.68710 | 1.69200 | 1.69642 |
| $v$ = | 0.592735 | 0.591015 | 0.589478 |
| $n$ = | 1.59918 | 1.60232 | 1.60536 |
| $p$ = | 0.625322 | 0.624096 | 0.622915 |
| $\psi$ = | 253° 16′ 58″.09 | 253° 20′ 52″.75 | 253° 24′ 38″.82 |
| $\varrho - \psi$ = | − 216 13 19.85 | − 216 17 14.51 | − 216 21 0.58 |
| $\Theta$ = | 41 57 24.05 | 42 0 35.26 | 42 3 39.63 |
| $\varepsilon$ = | 1.50732 | 1.50920 | 1.51132 |
| $e$ = | 0.663428 | 0.662604 | 0.661674 |

Aus den beiden Beobachtungen erhalten wir also für die Hauptbrechungsindices und Hauptlichtgeschwindigkeiten folgende Tabelle:

Digitized by Google

| | T = 18°.8—20° C. | | | T = 21°.3—22°.5 C. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Li | Na | Tl | Li | Na | Tl |
| $\omega$ | 1.68721 | 1.69205 | 1.69647 | 1.68710 | 1.69200 | 1.69642 |
| $\varepsilon$ | 1.50762 | 1.50981 | 1.51174 | 1.50732 | 1.50920 | 1.51132 |
| o | 0.592696 | 0.590999 | 0.589458 | 0.592735 | 0.591015 | 0.589478 |
| e | 0.663299 | 0.662336 | 0.661491 | 0.663428 | 0.662604 | 0.661674 |

Mittelwerthe. T = 20°.6 C.

| | Li | Na | Tl |
|---|---|---|---|
| $\omega$ | 1.68716 | 1.69203 | 1.69645 |
| $\varepsilon$ | 1.50747 | 1.50951 | 1.51153 |
| o | 0.592716 | 0.591007 | 0.589468 |
| e | 0.663364 | 0.662470 | 0.661583 |

**Prisma II** (vgl. Taf. I Fig. 3) war aus einem Spaltungsrhomboëder derart hergestellt worden, dass die Prismenfläche II nahezu parallel zu der Rhomboëderfläche $R_1$ angeschliffen war. Die Flächen a, b sind Theile der Spaltflächen $R_0$, $R_2$. Die Fläche I ist nahezu parallel zur Durchschnittskante der Rhomboëderflächen $R_1$ und $R_2$.

Die chemische Zusammensetzung ist nach Hrn. C. Baerwald:

| | | | |
|---|---|---|---|
| CaO | = 29.20 % | $CaCO_3$ | = 51.96 % |
| MgO | = 17.54 „ | $MgCO_3$ | = 36.83 „ |
| FeO | = 7.39 „ | $FeCO_3$ | = 11.90 „ |
| $CO_2$ | = 45.86 „ | | 100.69 % |
| | 99.99 % | | |

Für den Prismenwinkel wurde gefunden:

(I II) = 131° 0′ 52″.85 , A = 48° 59′ 7″.15 , T = 16°.9 C.

Da die beiden Spaltflächen a, b mehrere Reflexe gaben, so mussten sie bis auf kleine Flächenstücke abgeblendet werden. Hierdurch wurden zwar alle Reflexe bis auf einen vernichtet, jedoch war dieser lichtschwach.

T = 17°.5—20° C.

| | |
|---|---|
| (I b) | = 56° 52′ 39″.30 |
| (II b) | = 74 11 51.35 |
| (a b) | = 73 46 15.35 |
| (I a) | = 88 45 23.15 |
| (II a) | = 74 25 43.70 |

Digitized by Google

Die auf S. 5 angegebene Determinante liefert — 0.0001037. Die Abweichung dieses Werthes von Null ist grösser als jene bei dem Prisma I und rührt wohl daher, dass die Temperaturschwankungen bei diesen Messungen grösser waren.

Fig. 4 zeigt die stereographische Projection der Polfigur und der durch die Pole gelegten grössten Kugelkreise; die Bezeichnung ist dieselbe wie in Fig. 2.

In dem rechtwinkligen Dreieck ZaV ist

$$(aV) = \tfrac{1}{2}(ab) = 36^\circ\,53'\,7''.68 \quad , \quad (aZV) = 60^\circ$$

demnach

$$(aZ) = 43^\circ\,52'\,25''.43 = (bZ) \quad , \quad (ZaV) = 38^\circ\,41'\,29''.64 = (ZbV)$$

Ferner sind in dem Dreieck Iab die drei Seiten (Ia), (Ib), (ab) bekannt, folglich

$$(Iab) = 55^\circ\,44'\,30''.54$$

Nun ist

$$(IaZ) = (Iab) + (ZaV) = 94^\circ\,26'\,0''.18$$

Sodann findet man in dem Dreieck IaII aus den bekannten Stücken (III), (Ia), (IIa)

$$(IaII) = 133^\circ\,25'\,47''.40 \; , \; (IIIa) = 74^\circ\,42'\,12''.46 \; , \; (IIIa) = 67^\circ\,59'\,34.''00$$

Mithin ist

$$(ZaII) = (IaII) - (IaZ) = 38^\circ\,59'\,47''.22$$

Demnach kennt man in dem Dreieck ZaII (IIa), (aZ), (ZaII); daraus folgt

$$(IIZ) = 44^\circ\,34'\,15''.34 \quad , \quad (ZIIa) = 38^\circ\,25'\,20''.38$$

Alsdann ist

$$(HIIZ) = (IIIa) - (ZIIa) = 35^\circ\,46'\,52''.08$$

Ferner sind in dem Dreieck ZaI (Ia), (aZ), (IaZ) bekannt, mithin

$$(IZ) = 92^\circ\,10'\,22''.82 \quad , \quad (aIZ) = 43^\circ\,44'\,54''.10$$

Schliesslich ergiebt sich aus dem Dreieck HIIZ, in welchem man (IIZ), (HIIZ) kennt,

$$\tau = 24^\circ\,13'\,32''.27$$

Auch kann $\tau$ aus dem rechtwinkligen Dreieck HIZ, in welchem ((IZ), HIZ) bekannt ist, berechnet werden:

$$\tau = 24^\circ\,13'\,33''.10$$

Aus den beiden Dreiecken HIIZ und HIZ erhält man ferner

$$(IIH) = 38^\circ\,37'\,54''.12 \quad , \quad (IH) = 92^\circ\,22'\,58''.68$$

und es muss die Relation erfüllt sein:

$$(IIH) + (IH) - (III) = 0$$
$$131^\circ\,0'\,52''.80 - 131^\circ\,0'\,52''.85 = -0''.05$$

Digitized by Google

Alsdann ist

$$\left|\begin{array}{l} \varrho = 180 - \frac{1}{2}(\mathrm{III}) + (\mathrm{IIH}) = 153^0\ 7'\ 27''.69 \\ \varrho = 180 + \frac{1}{2}(\mathrm{III}) - (\mathrm{IH}) = 153\ 7\ 27.75 \end{array}\right.$$

Für die weitere Rechnung sind folgende Mittelwerthe genommen:

$$\tau = 24^0\ 13'\ 32''.65\ ,\quad \varrho = 153^0\ 7'\ 27''.72$$

Bei der Messung der Ablenkungen D und $D_u$ zeigte das gegen den Verticalfaden des Beobachtungsfernrohrs von links oben nach rechts unten geneigte Bild des ausserordentlichen Strahls eine etwas grössere Lichtintensität als das Bild des ordentlichen Strahls, welches noch durch einen matten Reflex eines Spaltrisses im Innern des Prismas überlagert wurde; dieser Reflex bewirkte, dass der Rand des Bildes etwas verschwommen erschien. T = 20°—21°.3 C.

| | Li | Na | Tl |
|---|---|---|---|
| i = | 48° 17' 37".70 | 48° 17' 37".70 | 48° 17' 37".70 |
| D = | 40 15 8.50 | 40 34 24.90 | 40 51 36.35 |
| $D_u$ = | 30 22 46.20 | 30 31 42.20 | 30 39 57.55 |

Alsdann erhält man aus (4)—(7);

| | | | |
|---|---|---|---|
| r = | 26° 11' 28".06 | 26° 6' 27".62 | 26° 2' 2".38 |
| $r_u$ = | 29° 14' 45.64 | 29 11 31.59 | 29 8 33.10 |
| $\omega$ = | 1.69148 | 1.69651 | 1.70098 |
| $\upsilon$ = | 0.591199 | 0.589444 | 0.587897 |
| n = | 1.52809 | 1.53067 | 1.53304 |
| p = | 0.65441 | 0.65331 | 0.65230 |

Da auch bei diesem Prisma die Fläche II zur Eintrittsfläche des Lichtstrahls gewählt war, so ist

$$\psi = \frac{3\pi}{2} - \left(r_u - \frac{A}{2}\right)$$

also für die drei Lichtsorten:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\psi$ = | 265° 14' 47".94 | 265° 18' 1".99 | 265° 21' 0".48 |
| $\varrho - \psi$ = | — 112 7 20.22 | — 112° 10 34.27 | — 112 13 32.76 |

Demnach ist nach (9) und (11)

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\Theta$ = | 69° 54' 52".43 | 69° 51' 57".88 | 69° 49' 17".35 |
| $\varepsilon$ = | 1.50965 | 1.51189 | 1.51397 |
| e = | 0.662405 | 0.661425 | 0.660515 |

Zur Controle der Messungen und Rechnungen wurde noch ein zweiter Einfallswinkel gewählt. T = 21°.3—22°.5 C.:

Digitized by Google

| | | | |
|---|---|---|---|
| $i$ = | 61° 28′ 25″.25 | 61° 28′ 25″.25 | 61° 28′ 25″.25 |
| $D$ = | 43 24 32.65 | 43 42 13.65 | 43 58 12.00 |
| $D_u$ = | 33 30 59.00 | 33 39 7.30 | 33 46 53.35 |
| $r$ = | 31 17 52.36 | 31 11 41.27 | 31 6 13.16 |
| $r_u$ = | 35 19 33.05 | 35 15 43.64 | 35 12 5.57 |
| $\omega$ = | 1.69128 | 1.69630 | 1.70077 |
| $\upsilon$ = | 0.591269 | 0.589518 | 0.587969 |
| $n$ = | 1.51947 | 1.52186 | 1.52414 |
| $p$ = | 0.658124 | 0.657090 | 0.656107 |
| $\psi$ = | 259° 10′ 0″.53 | 259° 13′ 49″.94 | 259° 17′ 28″.01 |
| $\varrho - \psi$ = | −106 2 32.81 | −106 6 22.22 | −106 10 0.29 |
| $\Theta$ = | 75 24 12.02 | 75 20 44.26 | 75 17 26.79 |
| $\varepsilon$ = | 1.50963 | 1.51181 | 1.51390 |
| $e$ = | 0.662416 | 0.661459 | 0.660545 |

In der folgenden Tabelle sind die aus beiden Beobachtungen für die Hauptbrechungsindices und Hauptlichtgeschwindigkeiten gefundenen Werthe zusammengestellt.

| | T = 20—21°.3 C. | | | T = 21°.3—22°.5 C. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Li | Na | Tl | Li | Na | Tl |
| $\omega$ | 1.69148 | 1.69651 | 1.70098 | 1.69128 | 1.69630 | 1.70077 |
| $\varepsilon$ | 1.50965 | 1.51189 | 1.51397 | 1.50963 | 1.51181 | 1.51390 |
| $\upsilon$ | 0.591199 | 0.589444 | 0.587897 | 0.591269 | 0.589518 | 0.587969 |
| $e$ | 0.662405 | 0.661425 | 0.660515 | 0.662416 | 0.661459 | 0.660545 |

Mittelwerthe. T = 21°.3 C.

| | Li | Na | Tl |
|---|---|---|---|
| $\omega$ | 1.69138 | 1.69641 | 1.70088 |
| $\varepsilon$ | 1.50964 | 1.51185[1] | 1.51394 |
| $\upsilon$ | 0.591234 | 0.589481 | 0.587933 |
| $e$ | 0.662411 | 0.661442 | 0.660530 |

Nach Fizeau[2] sind die Hauptbrechungsindices eines Dolomits von Traversella für Na-Licht bei 17° C.

$$\omega_D = 1.68174 \quad , \quad \varepsilon_D = 1.50256$$

Die chemische Zusammensetzung war nach Damour (a. a. O. p. 132):

| | | |
|---|---|---|
| $CaCO_3$ | = | 54.21 % |
| $MgCO_3$ | = | 44.41 „ |
| $FeCO_3$ | = | 0.91 „ |
| $MnCO_3$ | = | 0.55 „ |
| | | 100.08 % |

Spec. Gew. = 2.883.

[1] An diesem Prisma ist von Hrn. J. Danker durch Totalreflexion ermittelt worden: $\varepsilon = 1.5117$, T = 19° C., für Na-Licht.

[2] Des Cloizeaux: Manuel de Minéralogie. Paris 1874. 2. 131.

Digitized by Google

## Specielle Fälle.

Ich gehe nun dazu über, die für die Hauptlichtgeschwindigkeit $c$ gegebenen Relationen (9)—(11) auf die durch Symmetrieeigenschaften ausgezeichneten Fälle anzuwenden und gleichzeitig den Einfluss, welchen eine geringe Abweichung der krystallographischen Hauptaxe von der vorgeschriebenen Lage auf das Endresultat ausübt, festzustellen.

Ich setze zu diesem Zwecke

$$\varrho = \varrho_0 + \alpha \quad , \quad \tau = \tau_0 + \beta \quad , \quad \psi = \psi_0 + \gamma$$

worin $\varrho_0$, $\tau_0$, $\psi_0$ die für einen bestimmten Symmetriefall geltenden Werthe von $\varrho$, $\tau$, $\psi$ und $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ kleine Grössen bezeichnen, um welche die wahren Werthe $\varrho$, $\tau$, $\psi$ von jenen abweichen.

Wären die für die Symmetriefälle vorgeschriebenen Bedingungen genau erfüllt, m. a. W. wäre $\alpha = \beta = \gamma = 0$, so würde die Hauptlichtgeschwindigkeit $c$ eine Funktion von $\varrho_0$, $\tau_0$, $\psi_0$ sein:

$$\frac{1}{c} = f(\varrho_0 \tau_0 \psi_0) = \left(\frac{n \sin \Theta}{\cos \chi}\right)_0 = f_0$$

Haben aber $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ kleine von 0 abweichende Werthe, so wird

$$\frac{1}{c} = f(\varrho_0 + \alpha \, , \, \tau_0 + \beta \, , \, \psi_0 + \gamma)$$

oder, wenn f nach dem Taylor'schen Lehrsatz unter Vernachlässigung der höheren Potenzen und Produkte von $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ gegen Eins entwickelt wird:

$$(12) \quad f(\varrho_0 + \alpha \, , \, \tau_0 + \beta \, , \, \psi_0 + \gamma) = f_0 + \alpha \left(\frac{df}{d\varrho}\right)_0 + \beta \left(\frac{df}{d\tau}\right)_0 + \gamma \left(\frac{df}{d\psi}\right)_0$$

Es ist aber

$$\left| \begin{array}{l} \frac{df}{d\varrho} = \left(\frac{\partial f}{\partial \Theta} + \frac{\partial f}{\partial \chi} \frac{\partial \chi}{\partial \Theta}\right) \frac{\partial \Theta}{\partial \varrho} \\ \frac{df}{d\tau} = \left(\frac{\partial f}{\partial \Theta} + \frac{\partial f}{\partial \chi} \frac{\partial \chi}{\partial \Theta}\right) \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} \\ \frac{df}{d\psi} = \left(\frac{\partial f}{\partial \Theta} + \frac{\partial f}{\partial \chi} \frac{\partial \chi}{\partial \Theta}\right) \frac{\partial \Theta}{\partial \psi} \end{array} \right.$$

so dass

$$f(\varrho_0+\alpha, \tau_0+\beta, \psi_0+\gamma) = f_0 + \left(\left(\frac{\partial f}{\partial \Theta}\right)_0 + \left(\frac{\partial f}{\partial \chi}\right)_0 \left(\frac{\partial \chi}{\partial \Theta}\right)_0\right)\left(\alpha\left(\frac{\partial \Theta}{\partial \varrho}\right)_0 + \beta\left(\frac{\partial \Theta}{\partial \tau}\right)_0 + \gamma\left(\frac{\partial \Theta}{\partial \psi}\right)_0\right)$$

Digitized by Google

Trägt man die Werthe:

$$\left|\begin{array}{ll} \frac{\partial f}{\partial \Theta} = \frac{n\cos\Theta}{\cos\chi} & \frac{\partial \Theta}{\partial \varrho} = -\frac{\cos\tau\sin(\varrho-\psi)}{\sin\Theta} \\ \frac{\partial f}{\partial \chi} = \frac{n\sin\Theta\sin\chi}{\cos^2\chi} & \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = -\frac{\sin\tau\cos(\varrho-\psi)}{\sin\Theta} \\ \frac{\partial \chi}{\partial \Theta} = -\frac{n\sin\Theta}{\omega\cos\chi} & \frac{\partial \Theta}{\partial \psi} = \frac{\cos\tau\sin(\varrho-\psi)}{\sin\Theta} \end{array}\right|$$

in die Gleichung (12) ein, so gelangt man zu folgender Relation:

$$(13)\quad \frac{1}{e} = \frac{n\sin\Theta_0}{\cos\chi_0} + \frac{(\omega^2-n^2)\sin\chi_0}{\omega\cos^2\chi_0\sin\Theta_0}\Big\{-\alpha\cos\tau_0\sin(\varrho_0-\psi_0)-\beta\sin\tau_0\cos(\varrho_0-\psi_0) + \gamma\cos\tau_0\sin(\varrho_0-\psi_0)\Big\}$$

worin

$$\sin\chi_0 = \frac{n\cos\Theta_0}{\omega}\quad,\quad \cos\Theta_0 = -\cos\tau_0\cos(\varrho_0-\psi_0).$$

Mit Hülfe dieser Gleichung ist man in der Lage, einmal den bei den Messungen zu befürchtenden Fehler zu berechnen, dann aber auch für die einzelnen durch Symmetrieeigenschaften ausgezeichneten Fälle, in denen $\varrho$, $\tau$, $\psi$ specielle Werthe $\varrho_0$, $\tau_0$, $\psi_0$ annehmen, den Einfluss einer kleinen Abweichung von jenen auf das Endresultat zu ermitteln. Da nämlich Prismen, welche von natürlichen Flächen gebildet werden, nur ausnahmsweise im ursprünglichen Zustande für die Messung brauchbare Bilder liefern und in der Regel einer Politur unterworfen werden müssen, so ist es nothwendig, den Einfluss einer Änderung der Werthe von $\varrho_0$, $\tau_0$, $\psi_0$, die ja dann nur sehr klein sein wird, auf das Endresultat anzugeben.

I. Die Halbirungsgerade des inneren Prismenwinkels A steht senkrecht zum Hauptschnitt der Prismenkante; dann ist $\varrho_0 = \pi/2$, während die Neigung $\tau_0$ der optischen Axe zum Prismenquerschnitt jeden beliebigen Werth zwischen 0 und $\pi$ annehmen kann, und es wird

$$(14)\quad \left|\begin{array}{c} \cos\Theta_0 = -\cos\tau_0\sin\psi_0 \\ \frac{1}{e} = \varepsilon = \frac{n\sin\Theta_0}{\cos\chi_0}\quad,\quad \sin\chi_0 = \frac{n\cos\Theta_0}{\omega} \end{array}\right.$$

Ist nun $\varrho = \pi/2 + \alpha$, $\tau = \tau_0 + \beta$, so wird

$$(15)\quad \frac{1}{e} = \varepsilon = \frac{n\sin\Theta_0}{\cos\chi_0} + \frac{(\omega^2-n^2)\sin\chi_0}{\omega\cos^3\chi_0\sin\Theta_0}\Big\{-\alpha\cos\tau_0\cos\psi_0 - \beta\sin\tau_0\sin\psi_0\Big\}$$

Digitized by Google

II. Der Hauptschnitt der Prismenkante halbirt den inneren Prismenwinkel A; in diesem Falle wird $\varrho_0 = 0$ resp. $\pi$, mithin

$$(16) \qquad \left| \begin{array}{c} \cos \Theta_0 = \mp \cos \tau_0 \cos \psi_0 \\ \frac{1}{e} = \varepsilon = \frac{n \sin \Theta_0}{\cos \chi_0} \quad , \quad \sin \chi_0 = \frac{n \cos \Theta_0}{\omega} \end{array} \right.$$

Ist aber $\varrho = 0 + \alpha$ resp. $\pi + \alpha$, $\tau = \tau_0 + \beta$, so erhalten wir

$$(17) \quad \frac{1}{e} = \varepsilon = \frac{n \sin \Theta_0}{\cos \chi_0} \pm \frac{(\omega^2 - n^2) \sin \chi_0}{\omega \cos^3 \chi_0 \sin \Theta_0} \left\{ \alpha \cos \tau_0 \sin \psi_0 - \beta \sin \tau_0 \cos \psi_0 \right\}$$

III. Die optische Axe liegt im Querschnitt des Prismas; alsdann ist $\tau_0 = 0$ resp. $\pi$, $\varrho_0$ hat einen zwischen 0 und $\pi$ liegenden Werth; somit wird

$$(18) \qquad \left| \begin{array}{c} \cos \Theta_0 = \mp \cos (\varrho_0 - \psi_0) \\ \frac{1}{e} = \varepsilon = \frac{n \sin \Theta_0}{\cos \chi_0} \quad , \quad \sin \chi_0 = \frac{n \cos \Theta_0}{\omega} \end{array} \right.$$

Weicht nun $\tau_0$ um $\beta$ von 0 oder $\pi$ ab, so wird das Resultat durch diese kleine Änderung nicht beeinflusst werden, da das Glied der Gleichung (13), welches $\beta$ enthält, dann der Null gleich wird. Bei einer Änderung von $\varrho_0$ um $\alpha$ wird

$$(19) \qquad \frac{1}{e} = \varepsilon = \frac{n \sin \Theta_0}{\cos \chi_0} \mp \frac{\alpha (\omega^2 - n^2) \sin \chi_0 \sin (\varrho_0 - \psi_0)}{\omega \cos^3 \chi_0 \sin \Theta_0}$$

IV. Die optische Axe halbirt den Prismenwinkel A; demnach ist $\varrho_0 = 0$ oder $\pi$, $\tau_0 = 0$ oder $\pi$.

Ist $\varrho_0 = 0$, $\tau_0 = 0$ oder $\varrho_0 = \pi$, $\tau_0 = \pi$, so wird

$$\cos \Theta_0 = - \cos \psi_0$$

Ist $\varrho_0 = 0$, $\tau_0 = \pi$ oder $\varrho_0 = \pi$, $\tau_0 = 0$, so wird

$$\cos \Theta_0 = \cos \psi_0$$

In beiden Fällen ist

$$(20) \qquad \frac{1}{e} = \varepsilon = \frac{n \sin \Theta_0}{\cos \chi_0} \quad , \quad \sin \chi_0 = \frac{n \cos \Theta_0}{\omega}$$

Ändert sich nun $\varrho_0$ um $\alpha$ und $\tau_0$ um $\beta$, so wird

$$(21) \qquad \frac{1}{e} = \varepsilon = \frac{n \sin \Theta_0}{\cos \chi_0} \pm \frac{\alpha (\omega^2 - n^2) \sin \chi_0 \sin \psi_0}{\omega \cos^3 \chi_0 \sin \Theta_0}$$

Eine kleine Änderung von $\tau_0$ kommt hierbei nicht in Betracht, da in Gleichung (13) das Glied mit $\beta$ verschwindet.

V. Die optische Axe halbirt den Aussenwinkel des Prismas; folglich ist $\varrho_0 = \pi/2$, $\tau_0 = 0$ resp. $\pi$. Es wird dann

Digitized by Google

$$(22)\qquad \left|\begin{array}{l} \cos\Theta_0 = \mp \sin\psi_0 \\ \dfrac{1}{e} = \varepsilon = \dfrac{n\sin\Theta_0}{\cos\chi_0} \quad , \quad \sin\chi_0 = \dfrac{n\cos\Theta_0}{\omega} \end{array}\right.$$

Ist $\varrho_0 = \pi/2 + \alpha$, $\tau_0 = 0$ oder $\pi$ oder nur wenig von den beiden Werthen verschieden, so wird

$$(23)\qquad \frac{1}{e} = \varepsilon = \frac{n\sin\Theta_0}{\cos\chi_0} \mp \frac{\alpha(\omega^2 - n^2)\sin\chi_0\cos\psi_0}{\omega\cos^3\chi_0\sin\Theta_0}$$

**VI.** Die Prismenkante ist parallel zur optischen Axe; dann ist $\tau_0 = \pi/2$ und: $\pi > \varrho_0 > 0$, folglich

$$(24)\qquad \cos\Theta_0 = 0 \quad , \quad \sin\chi_0 = 0 \quad , \quad \frac{1}{e} = \varepsilon = n$$

Wir erhalten also in diesem Falle direct die Hauptlichtgeschwindigkeit der ausserordentlichen Welle. Ferner geht aus Gleichung (13) hervor, dass eine kleine Änderung von $\varrho_0$, $\tau_0$ ohne Einfluss auf das Resultat sein wird, da das zweite Glied, welches den Fehler enthält, verschwindet. Es würde demnach dieser Fall zur Bestimmung der beiden Hauptlichtgeschwindigkeiten am vortheilhaftesten sein.

### Minimum der Ablenkung.

**1°.** Für die ordentliche Welle verhält sich das Mittel wie ein isotropes, es ist also

$$(25)\qquad n = \frac{\sin\frac{A}{2}}{\sin\frac{A + \Delta_0}{2}}$$

**2°.** Für die ausserordentliche Welle kann man durch folgende Betrachtung zur Aufstellung einer Gleichung[1] für $e$

[1] Vgl. G. G. Stokes: On a Formula for Determing the Optical Constants of Doubly Refracting Crystals. Cambr. and Dublin Mathem. Journ. 1846, 1, 183. — Math. and Phys. Papers. Cambridge 1880, 1, 148.

H. de Sénarmont: Note sur quelques formules propres à la détermination des trois indices principaux dans les cristaux biréfringents. Nouv. Ann. de Mathém. 1857, **16**, 273.

V. von Lang: Über die Minimum-Ablenkung der Lichtstrahlen durch doppeltbrechende Prismen. Sitzungsber. Wien. Akad. 1858, **33**, 155.

—: Die Änderungen der Krystallaxen des Aragonits durch die Wärme ausgerechnet aus Rudberg's Beobachtungen. Ib. **33**, 577.

H. Topsoe og C. Christiansen: Krystallografisk-optiske Undersoegelser, med saerligt Hensyn til isomorfe Stoffer. Videnskr. Selsk. Skr. 5 Raekke, naturv. og math. afd. 9. B. IX. Kjöbenhavn 1873. — Ann. chim. phys. 1874, (5), 1, 5. — Pogg. Ann. 1874, Erg.-Bd. VI, 499.

A. Cornu: De la réfraction à travers un prisme suivant une loi quelconque. Ann. scient. de l'École Normale 1872, (2), 1, 231.

Digitized by Google

gelangen. Legt man durch ein beliebig geschnittenes Prisma eines optisch einaxigen Krystalls senkrecht zur Prismenkante einen Querschnitt[1], so schneidet dieser die Strahlenfläche in einer Ellipse $\mathfrak{R}$ und die Wellenfläche in einem Oval $\mathfrak{W}$, welches die Fusspunktscurve von $\mathfrak{R}$ ist. Beide Curven haben mithin dieselben Halbaxen $\mathfrak{h}$ und $\mathfrak{e}$, und es ist

(26) $$\mathfrak{h}^2 = \mathfrak{o}^2 \cos^2 \tau + \mathfrak{e}^2 \sin^2 \tau$$

Die Gleichung der letzteren Curve, die hier allein in Betracht kommt, lautet in Polarcoordinaten:

$$\mathfrak{p}^2 = \frac{1}{2}(\mathfrak{h}^2 + \mathfrak{e}^2) + \frac{1}{2}(\mathfrak{h}^2 - \mathfrak{e}^2)\cos 2(\varrho - \psi)$$

Für einen irgend wie beschaffenen homogenen Körper gilt aber unabhängig von der Gestalt der Wellenfläche und der Orientirung des Prismas, folgende Relation (a. a. O. 16):

$$\mathfrak{p}^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\mathfrak{C}^2} + \frac{1}{\mathfrak{S}^2}\right) + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\mathfrak{C}^2} - \frac{1}{\mathfrak{S}^2}\right)\cos^2 \psi$$

wenn:

$$\frac{1}{\mathfrak{C}} = \frac{\cos\frac{A}{2}}{\cos\frac{A+D}{2}} \quad , \quad \frac{1}{\mathfrak{S}} = \frac{\sin\frac{A}{2}}{\sin\frac{A+D}{2}}$$

gesetzt wird. Mithin ist

(27) $$\left(\frac{1}{\mathfrak{C}^2} + \frac{1}{\mathfrak{S}^2}\right) + \left(\frac{1}{\mathfrak{C}^2} - \frac{1}{\mathfrak{S}^2}\right)\cos 2\psi = (\mathfrak{h}^2 + \mathfrak{e}^2) + (\mathfrak{h}^2 - \mathfrak{e}^2)\cos 2(\varrho - \psi)$$

Beim Minimum der Ablenkung ist nun $\frac{\partial D}{\partial \psi} = 0$, also

(28) $$-\left(\frac{1}{\mathfrak{C}^2} - \frac{1}{\mathfrak{S}^2}\right)\sin 2\psi = (\mathfrak{h}^2 - \mathfrak{e}^2)\sin 2(\varrho - \psi)$$

Dann folgt aus (27) und (28):

(29) $$\left(\frac{1}{\mathfrak{C}^2} + \frac{1}{\mathfrak{S}^2}\right)\sin 2\psi = (\mathfrak{h}^2 + \mathfrak{e}^2)\sin 2\psi + (\mathfrak{h}^2 - \mathfrak{e}^2)\sin 2\varrho$$

und aus (28) und (29):

$$\left|\begin{array}{l} \frac{1}{\mathfrak{C}^2} = \frac{1}{2}(\mathfrak{h}^2 + \mathfrak{e}^2) + \frac{1}{2}(\mathfrak{h}^2 - \mathfrak{e}^2)\cos 2\varrho + \frac{1}{2}(\mathfrak{h}^2 - \mathfrak{e}^2)\sin 2\varrho \tan\psi \\ \frac{1}{\mathfrak{S}^2} = \frac{1}{2}(\mathfrak{h}^2 + \mathfrak{e}^2) - \frac{1}{2}(\mathfrak{h}^2 - \mathfrak{e}^2)\cos 2\varrho + \frac{1}{2}(\mathfrak{h}^2 - \mathfrak{e}^2)\sin 2\varrho \cot\psi \end{array}\right.$$

oder

(30) $$\left|\begin{array}{l} \cot\psi = -\dfrac{(\mathfrak{h}^2 - \mathfrak{e}^2)\sin\varrho\cos\varrho}{\mathfrak{h}^2\cos^2\varrho + \mathfrak{e}^2\sin^2\varrho - \frac{1}{\mathfrak{C}^2}} \\ \cot\psi = -\dfrac{\mathfrak{h}^2\sin^2\varrho + \mathfrak{e}^2\cos^2\varrho - \frac{1}{\mathfrak{S}^2}}{(\mathfrak{h}^2 - \mathfrak{e}^2)\sin\varrho\cos\varrho} \end{array}\right.$$

[1] Vgl. Th. Liebisch: Über die Bestimmung der Lichtbrechungsverhältnisse etc. S. 20, 21.



Digitized by Google

Durch Division dieser Gleichungen findet man mit Rücksicht auf (26)

(31) $$a_0 e^4 + 2a_1 e^2 + a_2 = 0$$

worin:

(32)
$$\left|\begin{array}{l} a_0 = \sin^2\tau \\ 2a_1 = \left(o^2 + \frac{\sin^2\varrho}{C_e^2} + \frac{\cos^2\varrho}{S_e^2}\right)\cos^2\tau - \frac{1}{C_e^2} - \frac{1}{S_e^2} \\ a_2 = -o^2\left(\frac{\sin^2\varrho}{C_e^2} + \frac{\cos^2\varrho}{S_e^2}\right)\cos^2\tau + \frac{1}{C_e^2 S_e^2} \\ \frac{1}{C_e^2} = \frac{\cos^2\frac{A}{2}}{\cos^2\frac{A+\Delta_e}{2}} \\ \frac{1}{S_e^2} = \frac{\sin^2\frac{A}{2}}{\sin^2\frac{A+\Delta_e}{2}} \end{array}\right.$$

zu setzen ist.

Sind nun an einem Prisma, dessen Orientirung durch $\tau$, $\varrho$ bekannt ist, der Prismenwinkel A und die Minimum-Ablenkungen $\Delta_o$, $\Delta_e$ der beiden austretenden Wellen gemessen, so kann man nach (25) und (31) die beiden Hauptlichtgeschwindigkeiten berechnen. Im Allgemeinen ergeben sich für $e^2$ zwei Werthe, jedoch ist nur derjenige Werth brauchbar, für den $\psi$ nahezu $= \pi/2$ wird.

Der Gleichung (31) kann man auch folgende, für die weitere Rechnung bequemere Form ertheilen:

(33) $$\left(e^2 - \frac{1}{C_e^2}\right)\left(e^2 - \frac{1}{S_e^2}\right) = \cos^2\tau\left(e^2 - o^2\right)\left(e^2 - \frac{\sin^2\varrho}{C_e^2} - \frac{\cos^2\varrho}{S_e^2}\right)$$

Für die einzelnen Symmetriefälle haben $\varrho$, $\tau$ specielle Werthe $\varrho_0$, $\tau_0$, so dass sich vorstehende Gleichung wesentlich vereinfacht.

I. Die Halbirungslinie des inneren Prismenwinkels A steht senkrecht zum Hauptschnitt der Prismenkante; dann ist $\varrho_0 = \pi/2$, $\pi > \tau_0 > 0$; mithin $\sin^2\varrho_0 = 1$, $\cos^2\varrho_0 = 0$. Setzt man diese Werthe in die Gleichung (33) ein, so erhält man

(34a) $$e^2 - \frac{1}{S_e^2} = \cos^2\tau_0\,(e^2 - o^2)$$

(34b) $$e^2 = \frac{1}{S_e^2} - f\cot^2\tau_0$$

Digitized by Google

worin:

$$(35) \qquad f = o^2 - \frac{1}{S_e^2} = \frac{\sin^2\frac{A}{2}\,\sin\frac{\Delta_e-\Delta_o}{2}\,\sin\left(A+\frac{\Delta_e+\Delta_o}{2}\right)}{\sin^2\frac{A+\Delta_e}{2}\,\sin^2\frac{A+\Delta_o}{2}}$$

Ist nun $\varrho$ nicht genau $= \pi/2$, so wird

$$(36) \qquad e^2 = \frac{1}{S_e^2} - f\cot^2\tau + x\ ,$$

worin x eine kleine Grösse bezeichnet und $\tau$ statt des speciellen Werthes $\tau_0$ gesetzt wird. Führt man diesen Werth für $e^2$ in die Gleichung (33) ein, so ist

$$(37) \quad (x - f\cot^2\tau - F)(x - f\cot^2\tau) = \cos^2\tau\,(x - f\cot^2\tau - f)(x - f\cot^2\tau - F\sin^2\varrho)$$

worin:

$$F = \frac{1}{C_e^2} - \frac{1}{S_e^2} = \frac{4\sin\frac{\Delta_e}{2}\,\sin\left(A+\frac{\Delta_e}{2}\right)}{\sin^2(A+\Delta_e)}$$

Löst man nun diese Gleichung unter Vernachlässigung der höheren Potenzen von x nach x auf, so gelangt man zu dem Werthe

$$(38) \qquad x = \frac{F f\cot^2\tau\cos^2\varrho}{f\cos^2\tau + F(1-\cos^2\tau\sin^2\varrho)}$$

Für $\varrho_0 = \pi/2$ muss $x = 0$ werden. Ist $\varrho_0 = \pi/2 + \alpha$ und $\tau = \tau_0$, so kann man, da $\alpha$ sehr klein sein soll, $\cos^2\varrho = \sin^2\alpha = \alpha^2$, $\sin^2\varrho = \cos^2\alpha = 1 - \alpha^2$ setzen; mithin wird

$$(39) \qquad x = \frac{F f\alpha^2\cot^2\tau_0}{f\cos^2\tau_0 + F(\sin^2\tau_0 + \alpha^2\cos^2\tau_0)}$$

Wächst $\tau_0$ um $\beta$, so wird x dadurch keine Veränderung erfahren, weil die kleine Abweichung von $\tau_0$ noch mit $\alpha^2$ zu multipliziren ist, wohl aber das Glied $-f\cot^2\tau_0$. Es wird alsdann

$$(40) \qquad -f\cot^2(\tau_0+\beta) = -f\left\{\cot^2\tau_0 + \beta\frac{\partial\cot^2\tau_0}{\partial\tau_0}\right\}$$
$$= -f\cot^2\tau_0\left(1 - \frac{4\beta}{\sin 2\tau_0}\right)$$

**Beispiel**: Für diesen Fall lag eine Reihe 1—2 cm. grosser und vollständig durchsichtiger Kalkspathkrystalle von Alston Moor in Cumberland vor, welche ausser zwei Flächen des Spaltungsrhomboëders r noch drei Flächen



Digitized by Google

des Rhomboëders $e = \pi\,(10\bar{1}2)$ besassen; in Taf. II Fig. 5 sind die Flächen des ersteren mit $r_1$, $r_2$, die des letzteren mit $e_1$, $e_2$, $e_3$ bezeichnet; $e_1$, $e_2$ waren polirt, mussten aber, da sie etwas gekrümmt waren, durch Auflegen von geschwärztem Stanniol bis auf kleine Flächenstücke abgeblendet werden. Dasselbe Verfahren zur Erzielung deutlicher Reflexe wurde auch bei den beiden Grundrhomboëderflächen angewendet.

Die Symbole dieser Flächen sind:

$r_1 = \bar{1}011$ , $r_2 = \bar{1}10\bar{1}$ , $e_1 = 10\bar{1}2$ , $e_2 = (01\bar{1}2)$ , $e_3 = 1\bar{1}0\bar{2}$

$e_1$, $e_2$ waren abwechselnd Ein- und Austrittsfläche des Lichtstrahls.

| | | |
|---|---|---|
| $(e_1 e_2)$ | $= 135^0\ 52'\ 14''.95$ | $T = 16^0.9$ C. |
| A | $= 44\ 7\ 45.05$ | |
| $\Delta_0$ | $= 33\ 3\ 7.09$ | $T = 17^0.3$ |
| $\Delta_c$ | $= 32\ 26\ 19.92$ | $T = 17^0.1$ |

Da die Fläche $e_3$, dem ersten stumpferen Rhomboëder zugehörig, keinen Reflex gab, so konnten nur noch die fünf Winkel, welche von den vier Flächen $r_1$, $r_2$, $e_1$, $e_2$ gebildet werden, gemessen werden.

| | | |
|---|---|---|
| $(r_1 r_2)$ | $= 105^0\ 3'\ 11''.12$ | $T = 15^0.9$ C. |
| $(r_1 e_1)$ | $= 70\ 14\ 41.35$ | $16^0.3$ |
| $(r_1 e_2)$ | $= 142\ 49\ 29.60$ | $16^0.6$ |
| $(r_2 e_1)$ | $= 143\ 3\ 15.10$ | $17^0$ |
| $(r_2 e_2)$ | $= 37\ 46\ 42.00$ | $16^0.3$ |

Nach Des Cloizeaux ist

$(r_1 r_2) = 105^0\ 5'^1$ , $(e_1 e_2) = 134^0\ 57'^2$ , $(r_1 e_1) = 70^0\ 52'^3$

Bedeutet $\varphi$ die Neigung der Diagonale der Grundrhomboëderfläche $r_2$ gegen die Hauptaxe, so ist

$$\tan\varphi = \frac{\sqrt{3}^4}{2c}$$

worin c die Axeneinheit bezeichnet. Diese berechnet sich aus

$$c = \sqrt{3}\,\tan\varphi_0 \quad , \quad \sin\varphi_0 = \frac{\cot\left(\frac{r_1 r_2}{2}\right)}{\sqrt{3}}$$

$$\varphi_0 = 26^0\ 16'\ 9''.67 \quad , \quad c = 0.85488$$

folglich ist

$\varphi = 45^0\ 22'\ 15''.82$ , $r_2 Z = 44^0\ 37'\ 44''.18$ , $r_1 Z = 135^0\ 22'\ 15''.82$

[1] Des Cloizeaux: Manuel de Minéralogie II, p. 99.

[2] a. a. O. p. 99, Col. 2.

[3] a. a. O. p. 98, Col. 1.

[4] Vgl. Th. Liebisch: Geom. Krystallographie S. 305.

Digitized by Google

Alsdann kennt man in dem Dreieck $r_1 Z r_2$ $(r_1 r_2)$, $(r_2 Z)$, $(r_1 Z r_2)$, mithin

$$(r_2 r_1 Z) = 39^0\ 3'\ 3''.65$$

Ferner sind in dem Dreieck $r_1 r_2 e_2$ $(r_1 r_2)$, $(r_2 e_2)$, $(r_1 e_2)$ bekannt, demnach:

$$(r_2 r_1 e_2) = 0^0\ 53'\ 10''.00$$

Nun ist:

$$(e_2 r_1 Z) = (r_2 r_1 Z) - (r_2 r_1 e_2) = 38^0\ 9'\ 53''.65$$

folglich findet man in dem Dreieck $e_2 r_1 Z$ aus $(r_1 e_2)$, $(r_1 Z)$, $(e_2 r_1 Z)$

$$(e_2 Z) = 25^0\ 44'\ 8''.02 \quad , \quad (e_2 Z r_1) = 120^0\ 41'\ 40''.80$$

Sodann kennt man in dem Dreieck $r_2 e_2 Z$ $(e_2 Z)$ $(r_2 Z)$, $(e_2 r_2)$, daraus folgt

$$(r_2 e_2 Z) = 90^0\ 4'\ 4''.32$$

Zur Controle von $(e_2 Z r_1) = 60 + (e_2 Z r_2)$ wird noch $(e_2 Z r_2)$ berechnet:

$$(e_2 Z r_2) = 60^0\ 41'\ 41''.10$$

In dem Dreieck $r_2 e_1 e_2$ sind $(r_2 e_1)$, $(r_2 e_2)$, $(e_1 e_2)$ bekannt, demnach

$$(e_1 e_2 r_2) = 122^0\ 55'\ 54''.18$$

Dann ist

$$(e_1 e_2 Z) = 360 - \{(e_1 e_2 r_2) + (r_2 e_2 Z)\} = 147^0\ 0'\ 1''.50$$

mithin

$$(H_1 e_2 Z) = 32^0\ 59'\ 58''.50$$

Ferner berechnet man aus dem Dreieck $e_1 e_2 Z$, in welchem $(e_1 e_2)$, $(e_2 Z)$, $(e_1 e_2 Z)$ bekannt sind, aus

$$\cos(e_1 Z) = \frac{\cos(e_2 Z)\cos\{(e_1 e_2) - \chi\}}{\cos\chi} \quad , \quad \tan\chi = \tan(e_2 Z)\cos(e_1 e_2 Z)$$

$-\chi = 22^0\ 0'\ 42''.89$ , $e_1 e_2 - \chi = 157^0\ 52'\ 57''.84$ , $e_1 Z = 154^0\ 10'\ 33''.82$

Der absolute Werth des Hülfswinkels $\chi$ giebt uns aber gleichzeitig, wie sich aus der Formel und Fig. 5 ersehen lässt, den Werth von $(H_1 e_2)$ und $(e_1 e_2) + \chi$ giebt den Werth von $(H_1 e_1)$; wir erhalten also

$$(H_1 e_2) = 22^0\ 0'\ 42''.89 \quad , \quad (H_1 e_1) = 157^0\ 52'\ 57''.84$$

Darauf erhält man

$$(e_2 e_1 Z) = 32^0\ 52'\ 51''.69$$

Nun findet man in dem rechtwinkligen Dreieck $e_2 H_1 Z$, in welchem man $(e_2 Z)$, $(H_1 e_2 Z)$ kennt,

$$z = 166^0\ 19'\ 14''.00 \quad , \quad (H_1 e_2) = 22^0\ 0'\ 42''.89$$

Es stimmt also dieser Werth für $(H_1 e_2)$ mit dem vorher ermittelten genau überein. Zur Controle berechnet man dann

Digitized by Google

noch aus dem rechtwinkligen Dreieck $(H_1 e_1 Z)$, in welchem $(e_1 Z)$, $(H_1 e_1 Z)$ bekannt sind,

$$\tau = 166^\circ 19' 14''.00 \quad , \quad (H_1 e_1) = 157^\circ 52' 58''.01$$

Schliesslich ist

$$\left| \begin{array}{l} \varrho = 180 - \frac{1}{2}(e_1 e_2) - (H_1 e_2) = 90^\circ 3' 9''.63 \\ \varrho = 180 + \frac{1}{2}(e_1 e_2) - (H_1 e_1) = 90\ 3\ 9.64 \end{array} \right.$$

Für die ordentliche Welle findet man aus (25)

$$\omega = 1.66045 \quad , \quad v = 0.602246^1.$$

Für die ausserordentliche Welle bestehen die Relationen (31) und (32). Löst man (31) nach e auf und setzt

$$\sin\varphi = -\frac{a_0}{a_1}\sqrt{\frac{a_2}{a_0}} \tag{41}$$

so wird

$$e_1^2 = \tan\frac{\varphi}{2}\sqrt{\frac{a_2}{a_0}} \quad , \quad e_2^2 = \cot\frac{\varphi}{2}\sqrt{\frac{a_2}{a_0}} \tag{42}$$

Für e ist alsdann derjenige Werth zu nehmen, für welchen das zugehörige $\psi$ (Gleichung (30)) nahezu $= \pi/2$ wird. Die spätere Rechnung zeigt, dass hier nur der erste Werth für $e^2$ in Betracht kommt. Es ist

$$\frac{a_0}{a_1} = \frac{2\sin^2\tau\, C_e^2 S_e^2}{\cos^2\tau\,(v^2 C_e^2 S_e^2 + S_e^2\sin^2\varrho + C_e^2\cos^2\varrho) - S_e^2 - C_e^2}$$

oder, wenn

$$\left| \tan\mu = \frac{C_e}{S_e} \right. \tag{43}$$

$$\left| \tan\varphi = \tan\mu\cot\varrho \right. \tag{44}$$

gesetzt wird

$$\frac{a_0}{a_1} = \frac{2\sin^2\tau\, C_e^2 S_e^2}{\cos^2\tau\left(v^2 C_e^2 S_e^2 + \frac{S_e^2\sin^2\varrho}{\cos^2\varphi}\right) - \frac{S_e^2}{\cos^2\mu}}$$

---

[1] Zur Controle wurde noch an einem anderen Krystall desselben Fundortes v bestimmt. Derselbe besass die Flächen

$r_1 = \bar{1}101$ , $r_2 = 0\bar{1}1\bar{1}$ , $e_1 = 10\bar{1}2$ , $e_2 = 1\bar{0}\bar{1}2$ , $e_3 = 0\bar{1}12$

$e_1$, $e_2$ waren polirt und fungirten abwechselnd als Ein- und Austrittsfläche des Lichtstrahls.

| | | |
|---|---|---|
| A | $= 45^\circ 48' 37''.29$ | $T = 17^\circ.4$ C. |
| $\Delta_0$ | $= 34\ 46\ 4.55$ | 17.6 |
| $\Delta_e$ | $= 34\ 4\ 51.19$ | 17.5 |

Für die ordentliche Welle ergiebt sich aus (25):

$$\omega = 1.66144 \quad , \quad v = 0.60189$$

Digitized by Google

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

Führt man einen weiteren Hülfswinkel $\psi$ ein,

(45) $$\cot\psi = \frac{\sin\varrho}{\mathfrak{o}\, C_e \cos\varphi}$$

so wird

$$\frac{a_0}{a_1} = \frac{2\sin^2\tau\, C_e^2 S_e^2}{\dfrac{\cos^2\tau\, \mathfrak{o}^2 C_e^2 S_e^2}{\sin^2\psi} - \dfrac{S_e^2}{\cos^2\mu}}$$

oder, wenn noch

(46) $$\sin\nu = \frac{\mathfrak{o}\, C_e \cos\tau\cos\mu}{\sin\psi}$$

gesetzt wird

(47) $$\frac{a_0}{a_1} = -\frac{2 C_e^2 \cos^2\tau\cos^2\mu}{\cos^2\nu}$$

Ferner ist

$$\sqrt{\frac{a_2}{a_0}} = \frac{\sqrt{-\mathfrak{o}^2\cos^2\tau\left(\dfrac{\sin^2\varrho}{C_e^2} + \dfrac{\cos^2\varrho}{S_e^2}\right) + \dfrac{1}{C_e^2 S_e^2}}}{\sin\tau}$$

oder nach (43) und (44)

$$\sin\tau\sqrt{\frac{a_2}{a_0}} = \sqrt{\frac{-\mathfrak{o}^2\cos^2\tau\sin^2\varrho}{C_e^2\cos^2\varphi} + \frac{1}{C_e^2 S_e^2}}$$

Führt man den Hülfswinkel $\chi$ ein,

(48) $$\cos\chi = \frac{\mathfrak{o}\, S_e \cos\tau\sin\varrho}{\cos\varphi}$$

so wird

(49) $$\sqrt{\frac{a_2}{a_0}} = \frac{\sin\chi}{\sin\tau\, C_e S_e}$$

Aus (43)—(47) und (48)—(49) erhält man

$$\mu = 27^\circ\,10'\,56''.56\ ,\quad 180 - \varphi = 0^\circ\ 1'\ 30''.00$$
$$180 - \psi = 27\ \ 1\ \ 32.64\ ,\quad 180 - \nu = 75\ \ 59\ \ 42.08$$
$$-\frac{a_0}{a_1} = 0.1084167\ ,\quad \chi = 15^\circ\,10'\,50''.17\ ,\quad \sqrt{\frac{a_2}{a_0}} = 0.792654$$

Alsdann wird in (41) und (42)

(41*) $\varphi = 59^\circ\,14'\,49''.37$

(42*) $\varepsilon = 1.48951\ ,\quad e = 0.671362$

Wären $e_1$ und $e_2$ zwei natürliche Flächen des Rhomboëders $\pi\,(01\bar{1}2)$, so ergiebt sich mit Hülfe der vorher (S. 20) berechneten Axeneinheit der Winkel $(e_1 e_2) = \varepsilon$ aus

Digitized by Google

$$\tan\left(\frac{\varepsilon}{2}\right) = \frac{1}{\sqrt{3}\sin\varphi_0} \quad , \quad \cot\varphi_0 = \frac{2\sqrt{3}}{c}$$

$$\varepsilon = 134^0\,55'\,26''.58$$

$$\text{gemessen } \varepsilon = 135^0\,52'\,14''.92$$

$$\text{Differenz} \quad 0^0\,56'\,48''.34$$

Ferner erhalten wir für die Neigung $\varphi$ der Fläche $e_2$ gegen die optische Axe aus

$$\tan\varphi = \frac{\sqrt{3}}{c} \quad ; \quad \varphi = 63^0\,43'\,50''.34$$

mithin ist die Neigung der Normalen von $e_1$, $e_2$ gegen die optische Axe

$$(e_1 Z) = 153^0\,43'\,50'' \quad , \quad (e_2 Z) = 26^0\,16'\,10''$$

Setzen wir nun $\varrho_0 = \pi/2$, so folgt $\tau_0$ aus

$$\tan\tau_0 = \frac{\cos 60^0}{\cot(e_2 Z)}$$

$$180 - \tau_0 = 13^0\,51'\,47'' \quad , \quad \tau_0 = 166^0\,8'\,13''$$

Es weicht also $\tau_0$ um $-0^0\,11'\,1''$ $(= \beta)$ und $\varrho_0$ um $-0^0\,3'\,9''.64$ $(= \alpha)$ von den wahren Werthen $\tau$, $\varrho$ ab.

Wir setzen zunächst $\varrho_0 = \pi/2$, mithin wird in (34):

$$-f = 0.004925 \quad , \quad f\cot^2\tau_0 = 0.08087 \quad , \quad \frac{1}{S_e^2} = 0.36762$$

$$e^2 = 0.44849 \quad , \quad e = 0.66970$$

Die Abweichung dieses Werthes e von dem vorher durch genauere Rechnung ermittelten (42*) beträgt 0.00166.

Lassen wir nun $\varrho_0$ um $\alpha$ wachsen ($\alpha = 0.00091941$, $\alpha^2 = 0.00000085$), so wird x (S. 19) sehr klein werden und ohne Einfluss auf das Resultat sein. Die vorher gefundene Differenz kann also nur durch die Änderung von $\tau_0$ bedingt sein.

Wird $\tau = \tau_0 + \beta$ ($\beta = 0.003205$), so erhalten wir

(40*) $$f\cot^2\tau = f\cot^2\tau_0\cos^2\chi \quad , \quad \sin\chi = \sqrt{\frac{4\beta}{\sin 2\tau_0}}$$

$$f\cot^2\tau = 0.07864 \quad , \quad e = 0.66802$$

Die Abweichung von (42*) erstreckt sich also bis zur dritten Decimalstelle; sie muss eine Folge der Vernachlässigung der kleinen Grössen zweiter Ordnung sein. In der That, setzen wir für $\tau$ den wahren Werth $166^0\,19'\,14''$ ein, so wird

$$f\cot^2\tau = 0.08314 \quad , \quad e = 0.67138$$

Diese Rechnung giebt gleichzeitig eine Bestätigung des vorher Gesagten, dass im vorliegenden Falle die Änderung von $\varrho_0$

Digitized by Google

ohne wesentlichen Einfluss auf das Resultat ist; sodann zeigt sie, dass zur Ermittelung der Hauptlichtgeschwindigkeit e diese Annäherung benutzt werden kann, wofern für $\tau_0$ der wahre Werth $\tau$ gesetzt wird.

Es wäre nun noch die Frage zu erörtern, wie gross $\alpha$, $\beta$ höchstens werden könnten, damit die auf S. 18, 19 gegebenen Annäherungen zulässig sind und das Resultat erst eine Abweichung in der vierten Decimalstelle zeigt.

Um den Einfluss von $\alpha$ zu ermitteln gehen wir von (36) aus; es wird

$$e^2 = 0.45076 + x$$

Dieser Gleichung entspricht, wenn $x = 0$ ist, der Werth $e = 0{,}67139$.

Wächst jetzt e um eine Einheit in der vierten Decimalstelle, so wird

$$e^2 = 0.45090 \quad , \quad x = -0.00014.$$

Löst man Gleichung (39) nach $\alpha$ auf und setzt

$$\tan\varphi = \sqrt{\frac{F}{f}}\,\frac{1}{\cot\tau_0} \quad , \quad \tan\psi = \sqrt{\frac{f}{x}}\,\frac{1}{\sin\tau_0}$$

so erhält man

(39*) $$\alpha = \sqrt{\frac{f}{F}}\,\frac{\cos\psi\sqrt{-\cos 2\varphi}}{\sin\varphi}$$

In diesen Gleichungen ist

$$f = -0.004925 \quad , \quad F = 1.02636 \quad , \quad \tau_0 = 13^\circ\,51'\,47'';$$

folglich wird

$$\alpha = 0.002684 = 9\tfrac{1}{4}'$$

Zur Ermittelung des Einflusses von $\beta$ liefert uns die Relation:

(40) $$f\cot^2\tau_0 + x = f\cot^2\tau_0\left(1 - \frac{4\beta}{\sin 2\tau_0}\right)$$

den Werth

(40*) $$\beta = -\frac{x\sin 2\tau_0}{4f\cot^2\tau_0} \quad , \quad \beta = -0.000184 = -\tfrac{3}{4}'.$$

Hieraus ersieht man, dass in dem Falle I stets die genaue krystallographische Orientirung der Prismenflächen vorzunehmen ist, da schon eine kleine Änderung des Werthes $\tau_0$ einen ziemlich bedeutenden Einfluss auf das Resultat ausübt.

II. Der Hauptschnitt der Prismenkante halbirt den inneren Prismenwinkel A; alsdann ist $\varrho_0 = 0$ oder $= \pi$ und $\pi > \tau_0 > 0$.

Digitized by Google

Demnach wird in Gleichung (33)

$$e^2 = \frac{1}{S_e^2} \tag{50}$$

Wir erhalten also in diesem Falle vermittelst des Minimums der Ablenkung unmittelbar die Hauptlichtgeschwindigkeit der ausserordentlichen Welle.

Setzen wir nun

$$e^2 = \frac{1}{S_e^2} + x \tag{51}$$

so geht (33) über in

$$(x - F)\, x = \cos^2 \tau\, (x - f)\, (x - F \sin^2 \varrho)$$

Indem man das Quadrat von x vernachlässigt, erhält man

$$x = \frac{F f \sin^2 \varrho \cos^2 \tau}{(f + F \sin^2 \varrho) \cos^2 \tau - F} \tag{52}$$

Ist $\varrho_0 = 0$ oder $= \pi$, und $\tau = \tau_0$, so verschwindet x und es wird

$$e = \frac{1}{S_e}$$

Ändert sich $\varrho_0$ um eine kleine Grösse $\alpha$ derart, dass $\sin^2 \varrho_0 = \sin^2 \alpha = \alpha^2$ gesetzt werden kann, so ergiebt sich

$$x = \frac{F f \alpha^2 \cos^2 \tau_0}{(f + F \alpha^2) \cos^2 \tau_0 - F} \tag{53}$$

Eine kleine Änderung von $\tau_0$ wird hier ohne Einfluss auf das Resultat sein.

Vergleichen wir diesen Symmetriefall mit dem vorigen, so zeigt sich, dass wir beide unter gewissen Bedingungen zusammenfassen können; es war nämlich vorher

$$e^2 = \frac{1}{S_e^2} + \cos^2 \tau\, (e^2 - o^2)$$

und jetzt ist

$$e^2 = \frac{1}{S_e^2}$$

Im ersten Falle kommt also zu $1/S_e^2$ noch das Glied $\cos^2 \tau\, (e^2 - o^2)$ hinzu. Ist $\cos \tau$ klein, so wird, da der Unterschied der Quadrate der beiden Hauptlichtgeschwindigkeiten $e^2 - o^2$ meist ebenfalls einen kleinen Werth hat, jenes Glied nahezu der Null gleich werden und ohne Einfluss auf das Resultat sein; wir können demnach für schwach doppeltbrechende Krystalle beide Fälle zusammenfassen und die für den zweiten

Digitized by Google

Fall abgeleiteten Formeln für x auf den ersten ausdehnen. Zur Übersicht lasse ich eine Tabelle folgen, aus der sich ersehen lässt, welchen Werth $\varepsilon^2 - o^2$ für einige der am häufigsten vorkommenden Mineralien annimmt.

| | o | e | $o^2 - e^2$ | Farbe | Autor |
|---|---|---|---|---|---|
| Natriumnitrat . . . | 0.63113 | 0.74934 | — 0.16318 | D | Kohlrausch |
| Calomel . . . . . | 0.510 | 0.385 | + 0.11188 | roth | Des Cloizeaux |
| Dolomit v. Traversella | 0.59462 | 0.66552 | — 0.08934 | D | Fizeau |
| Kalkspath . . . . | 0.60294 | 0.67279 | — 0.08911 | D | Rudberg |
| Dolomit a. d. Zillerthal | 0.59984 | 0.66399 | — 0.08107 | D | Danker |
| Rutil . . . . . | 0.38229 | 0.34448 | + 0.02747 | D | Baerwald |
| Zinnober . . . . . | 0.3551 | 0.3183 | + 0.02479 | Li | Des Cloizeaux |
| Dioptas . . . . . | 0.5999 | 0.5804 | + 0.02302 | * | Miller |
| Turmalin . . . . . | 0.61103 | 0.61754 | — 0.00800 | D | „ |
| Anatas von Cocaes . | 0.39442 | 0.40066 | — 0.00496 | D | Schrauf |
| Quarz . . . . . | 0.64759 | 0.64380 | + 0.00489 | D | Rudberg |
| Scheelit v. Traversella | 0.5214 | 0.5171 | + 0.00447 | roth | Des Cloizeaux |
| Beryll v. Grao Mogor | 0.63207 | 0.63466 | — 0.00328 | D | Schrauf |
| Rubin . . . . . | 0.56577 | 0.56844 | — 0.00303 | roth | Des Cloizeaux |
| Nephelin v. Mte. Somma | 0.6494 | 0.6515 | — 0.00273 | D | „ |
| Beryll von Nertschinsk | 0.63617 | 0.63800 | — 0.00232 | D | Danker |
| Apatit a. d. Zillerthal | 0.60750 | 0.60912 | — 0.00197 | D | Heusser |
| Eis . . . . . | 0.76570 | 0.76493 | + 0.00119 | roth | Reusch |
| Apophyllit von Naalsoë | 0.65286 | 0.65227 | + 0.00078 | roth | Des Cloizeaux |
| Vesuvian von Ala . . | 0.5811 | 0.5817 | — 0.00070 | D | „ |

**Beispiel**: Für diesen Fall lag ein ca. 2 cm. grosser Kalkspathkrystall von Andreasberg vor; derselbe zeigte zwei Spaltflächen $r_1$, $r_2$ des Rhomboëders $\pi$ (10$\bar{1}$1) und drei Flächen $m_1$, $m_2$, $m_3$ des Rhomboëders $\pi$ (40$\bar{4}$1). $m_1$, $m_2$ waren polirt, mussten jedoch, da sie sich als gekrümmt erwiesen, abgeblendet werden; $m_3$ ist bis auf eine sehr gut spiegelnde Stelle matt und machte daher eine Abblendung unnöthig; $r_1$ gab einen etwas verschwommenen Reflex, der immerhin noch so deutlich war, dass durch zahlreiche Einstellungen eine ziemlich grosse Genauigkeit in den Winkelwerthen erzielt werden konnte. Ganz ungeeignet für die Messung war die zweite Spaltfläche $r_2$; es konnte daher der Winkel des Grundrhomboëders nur annähernd gemessen werden.

* Für den hellsten Theil des Sonnenspectrums.

Digitized by Google

Die ausgebildeten Flächen haben die Symbole:

$r_1 = \bar{1}101$ , $r_2 = 10\bar{1}1$ , $m_1 = 044\bar{1}$ , $m_2 = 4\bar{4}0\bar{1}$ , $m_3 = \bar{4}04\bar{1}$

Die beiden polirten Flächen $m_1$, $m_2$ fungirten abwechselnd als Ein- und Austrittsfläche. (Vgl. Taf. II Fig. 6.)

| | | |
|---|---|---|
| A | $= 65^\circ\ 46'\ 21''.3$ | $T = 17^\circ.9$ C. |
| $\Delta_e$ | $= 41\ 50\ 29.7$ | 18.3 |
| $\Delta_o$ | $= 62\ 38\ 13.8$ | 18.9 |
| $(r_1\, m_1)$ | $= 80^\circ\ 29'\ 22''.90$ | $T = 22^\circ.4$ C. |
| $(r_1\, m_2)$ | $= 149\ 8\ 10.25$ | 19.3 |
| $(r_1\, m_3)$ | $= 80\ 29\ 4.50$ | 18.8 |
| $(m_3\, m_1)$ | $= 114\ 9\ 19.35$ | 20.6 |
| $(m_3\, m_2)$ | $= 113\ 54\ 29.80$ | 20 |
| $(m_1\, m_2)$ | $= 114\ 13\ 56.65$ | 20 |

$(r_1\, r_2) = 74^\circ\ 57'\ 12''.75$ [1] (Näherungswerth).

Aus $r_1 = \bar{1}101$, $m_3 = \bar{4}04\bar{1}$, $r_1\, m_3 = 80^\circ\ 29'\ 4''.5$ findet man nach bekannten Formeln [2] die Neigung von $r_1$ gegen die Basis $p^3$:

$$(r_1\, p^3) = 44^\circ\ 35'\ 54''.49\ [3]$$

Daraus ergiebt sich nach

$$\sin\frac{(r_1\, r_2)}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}\sin(r_1\, p^3)$$

$$(r_1\, r_2) = 74^\circ\ 53'\ 58''.4$$

Da $m_3$ eine Fläche des zweiten spitzeren Rhomboëders ist, so findet zwischen $(r_1\, Z)$ und $(m_3\, Z)$ die Relation statt:

$$\tan(r_1\, Z) = \tan[(m_3\, Z) - 90^\circ] = \tfrac{1}{4}$$

$$(m_3\, Z) = 104^\circ\ 13'\ 34''.95$$

$$= 104^\circ\ 13'\ \text{(nach Des Cloizeaux)}$$

Alsdann ist in dem Dreieck $Z\, r_1\, m_3$ $(r_1\, Z)$, $(m_3\, Z)$, $(r_1\, Z\, m_3)$ bekannt, mithin

$$(Z\, r_1\, m_3) = 121^\circ\ 39'\ 36''.08$$

Ferner sind in dem Dreieck $m_1\, r_1\, m_3$ $(r_1\, m_1)$, $(r_1\, m_3)$, $(m_1\, m_3)$ gegeben, demnach

$$(m_1\, r_1\, m_3) = 116^\circ\ 39'\ 56''.54$$

Nun ist

$$(Z\, r_1\, m_1) = 360 - [(m_1\, r_1\, m_3) + (Z\, r_1\, m_3)] = 121^\circ\ 40'\ 27''.38;$$

folglich kennt man in dem Dreieck $m_1\, r_1\, Z$ $(m_1\, r_1)$, $(Z\, r_1)$, $(Z\, r_1\, m_1)$, und es wird

$$(Z\, m_1) = 104^\circ\ 14'\ 20''.65$$

---

[1] Nach Des Cloizeaux (Man. de Min. 1874, 2, 97) ist:
$(r_1\, r_2) = 74^\circ\ 55'$ , $(m_1\, m_2) = 114^\circ\ 10'$ , $(r_1\, m_2) = 148^\circ\ 50'$.

[2] Th. Liebisch: Geometr. Krystallogr. S. 328—330 u. S. 280, 299.

[3] Nach Des Cloizeaux (a. a. O. p. 97) ist $(r_1\, p^3) = 44^\circ\ 36'\ 34''$.

Digitized by Google

Demnächst findet man aus dem Dreieck $m_2 r_1 m_3$, in welchem $(r_1 m_3)$, $(r_1 m_2)$, $(m_2 m_3)$ bekannt sind,

$$(m_2 r_1 m_3) = 121^\circ 21' 57''.76$$

Sodann ist

$$(m_2 r_1 Z) = (Z r_1 m_3) - (m_2 r_1 m_3) = 0^\circ 17' 38''.32$$

mithin kann man in dem Dreieck $m_2 Z r_1$ aus $(r_1 Z)$, $(r_1 m_2)$, $(m_2 r_1 Z)$

$$(Z m_2) = 104^\circ 32' 16''.76$$

berechnen. Ferner sind in dem Dreieck $m_1 Z m_2$ $(m_2 Z)$, $(m_1 Z)$, $(m_1 m_2)$ bekannt, demnach

$$(m_2 m_1 Z) = 113^\circ 28' 0''.12 \quad , \quad (m_1 m_2 Z) = 113^\circ 17' 22''.62$$

Schliesslich kennt man in dem rechtwinkligen Dreieck $Z H' m_1$ $(Z m_1)$, $(Z m_1 m_2)$, folglich

$$(HZ) = \tau = 62^\circ 45' 42''.13 \quad , \quad (H' m_1) = 57^\circ 29' 33''.41$$

$$\varrho = 180 - (H' m_1) + \left(\frac{m_1 m_2}{2}\right) = 179^\circ 37' 24''.92$$

Zur Controle berechnet man noch aus dem rechtwinkligen Dreieck $Z H' m_2$, in welchem $(Z m_2)$, $(Z m_2 m_1)$ bekannt sind

$$\tau = 62^\circ 45' 41''.11 \quad , \quad H' m_2 = 56^\circ 44' 22''.32$$

$$\varrho = 180 + (H' m_2) - \left(\frac{m_1 m_2}{2}\right) = 179^\circ 37' 23''.99$$

Wir erhalten also die Mittelwerthe:

$$\tau = 62^\circ 45' 41''.62 \quad , \quad \varrho = 179^\circ 37' 24''.45$$

Es ergiebt sich nach (25):

$$\omega = 1.65820 \quad , \quad \mathfrak{o} = 0.603064$$

und nach (43)—(47) und (48)—(49):

$$\mu = 25^\circ 19' 9''.21 \quad , \quad 180 - \varphi = 89^\circ 12' 14''.10$$

$$180 - \psi = 41\ 52\ 8.02 \quad , \quad \nu = 15\ 14\ 26.48$$

$$-\frac{a_0}{a_1} = 0.686224 \quad , \quad 180 - \chi = 78^\circ 48' 25''.79 \quad , \quad \sqrt{\frac{a_2}{a_0}} = 1.055642$$

Nun wird in (41) und (42):

(41*) $\quad \varphi = 46^\circ 25' 10''.3$

(42*) $\quad \varepsilon = 1.48632 \quad , \quad \mathfrak{e} = 0.672801$

Zum Vergleiche führe ich an:

| T | $\omega$ | $\varepsilon$ | $\mathfrak{o}$ | $\mathfrak{e}$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| 17°.75 | 1.65850 | 1.48635 | 0.602954 | 0.672789 | Rudberg[1] |
| — | 1.65825 | 1.48634 | 0.603045 | 0.672794 | Sarasin[2] |

[1] Rudberg: Untersuchung über die Brechung des farbigen Lichtes etc. Poggend. Ann. 1828, **14**, 54.

[2] E. Sarasin: Indices de réfraction ordinaire et extraordinaire du Spath d'Islande. Compt. Rend. 1882, **95**, 681.

Digitized by Google

Diese Werthe beziehen sich auf den Kalkspath von Island; an zwei Krystallen von Adreasberg hat Hr. J. DANKER[1] vermittelst Totalreflexion bestimmt:

| $\varepsilon$ | e | T |
|---|---|---|
| 1.48634 | 0.672794 | 20°.8 |
| 1.48617 | 0.672870 | 20 |

Wäre nur die Axeneinheit $c = \sqrt{\frac{3}{2}} \tan(r_1 p^3) = 0.85397$ gegeben, so erhalten wir für den Winkel $(m_1 m_2) = \delta$ aus

$$\cot\left(\frac{\delta}{2}\right) = \frac{1}{\sqrt{3}\sin\varphi_0} \quad , \quad \cot\varphi_0 = \frac{\sqrt{3}}{4c}$$

$$\delta = 114^\circ\ 10'\ 3''.46$$

Gemessen $\delta = 114^\circ\ 13'\ 56''.65$

Differenz $0^\circ\ 3'\ 53''.19$

Alsdann erhält man für die Neigungen der Fläche $m_1$ und ihrer Normale gegen die optische Axe

$$\varphi = 14^\circ\ 13'\ 35'' \quad , \quad (m_1 Z) = 104^\circ\ 13'\ 35''$$

Hierbei ist jedoch noch die Voraussetzung gemacht, dass die Lage der Fläche $m_1$ bei der Politur nur in paralleler Richtung zu der natürlichen Fläche verändert ist. Wäre $\varrho_0 = \pi$, so ergiebt sich in dem rechtwinkligen Dreieck $m_1 Z H'$ aus

$$\tan r_0 = \frac{\cos 60^\circ}{\cot(m_1 Z)} \quad ; \quad r_0 = 63^\circ\ 6'\ 46''.$$

Es weicht also $\tau$ um $21'\ 4''$ $(= \beta)$ von $\tau_0$ und $\varrho$ um $-22'\ 36''$ $(= \alpha)$ von $\pi$ ab. Nun gilt die Näherungsformel (50), aus welcher folgt:

$$e^2 = 0.45266 \quad , \quad e = 0.67280$$

Dieser Werth stimmt mit dem vorher gefundenen (42*) genau überein, obgleich $\varrho_0$ und $\tau_0$ von den wahren Werthen $\varrho$ und $\tau$ verschieden sind. Dass die Änderungen von $\varrho_0$, $\tau_0$ ohne Einfluss auf das Resultat sind, zeigt auch folgende Rechnung, durch welche noch das Glied x ermittelt wird, das zu $1/S_e^2$ hinzugefügt werden müsste. Es ist

$f = -0.088976$ , $F = 1.56965$ , $\alpha = -22'\ 36'' = -0.0065742$

mithin nach (53)

$$x = 0.00000078$$

[1] J. DANKER: Experimentelle Prüfung der aus den FRESNEL'schen Gesetzen der Doppelbrechung abgeleiteten Gesetze der Totalreflexion. Dies. Jahrb. 1885. Beil.-Bd. IV. 265.

Digitized by Google

Es soll nun untersucht werden, wie gross diese Änderung von $\varrho_0$ sein kann, damit höchstens ein Einfluss auf die vierte Decimalstelle des Resultates ausgeübt wird. Wir gehen zu diesem Zwecke von (53) aus:

(53*) $$\alpha^2 = \frac{x\,(f\cos^2\tau_0 - F)}{F\cos^2\tau_0\,(f-x)}$$

Dieser Ausdruck zeigt, dass bei einem optisch negativen Krystall x niemals negativ werden, dass also der durch Annäherung gefundene Werth ($e^2 = 1/S_e^2$) niemals grösser als der wahre Werth sein kann. Denn bei einem negativen Krystall ist f stets negativ; wäre x, welches $< f$ ist, gleichfalls negativ, so würde $\alpha$ imaginär werden.

Lassen wir jetzt e kleiner werden, und zwar nach einander um 2, 4, 6, 8, 10 Einheiten in der fünften Dezimalstelle, so wird sich auch $e^2$ ändern; die Differenz des wahren und des abweichenden Werthes für $e^2$ giebt x. In der folgenden Tabelle finden sich diese Änderungen zusammengestellt.

| e | $e^2$ | x | $\alpha$ | |
|---|---|---|---|---|
| 0.67280 | 0.4526599 | 0.0000000 | — | — |
| 0.67278 | 0.4526330 | 0.0000269 | 0.038651 | 2° 13′ |
| 0.67276 | 0.4526061 | 0.0000538 | 0.054646 | 3 8 |
| 0.67274 | 0.4525792 | 0.0000807 | 0.066962 | 3 50.2 |
| 0.67272 | 0.4525521 | 0.0001078 | 0.077373 | 4 26 |
| 0.67270 | 0.4525253 | 0.0001346 | 0.086443 | 4 57.2 |

Weicht z. B. $\varrho$ um 3° 50′.2 von 0 oder $\pi$ ab, so wird $x = 0.00008$, d. h. es sind zu dem aus (50) gefundenen Werthe $e^2$ noch 8 Einheiten in der fünften Dezimalstelle hinzuzufügen. Auf diese Weise erhält man mit ziemlich grosser Genauigkeit die Hauptlichtgeschwindigkeit für den ausserordentlichen Strahl.

Das vorliegende Beispiel zeigt, dass die Politur der Flächen sehr gut ausgeführt ist und dass sich die Lage der Flächen zu einander und zur optischen Axe nur wenig geändert hat. Gleichzeitig kann man hieraus ersehen, dass der Fall II für die Bestimmung der Hauptlichtgeschwindigkeiten sehr geeignet ist, da $\varrho$ schon um einen verhältnissmässig grossen Werth von 0 oder $\pi$ abweichen muss, um das Resultat zu beeinflussen, ein Umstand, der sich jedoch durch vorsichtige Ausführung der Politur sehr wohl vermeiden lässt.

Digitized by Google

**III.** Die optische Axe liegt im Querschnitt des Prismas; alsdann ist $\tau_0 = 0$ oder $= \pi$ und $\pi > \varrho_0 > 0$. In diesem Falle wird

$$\epsilon^2\left(v^2 + \frac{\sin^2\varrho_0}{C_\epsilon^2} + \frac{\cos^2\varrho_0}{S_\epsilon^2} - \frac{1}{C_\epsilon^2} - \frac{1}{S_\epsilon^2}\right) - v^2\left(\frac{\sin^2\varrho_0}{C_\epsilon^2} + \frac{\cos^2\varrho_0}{S_\epsilon^2}\right) + \frac{1}{C_\epsilon^2 S_\epsilon^2} = 0$$

oder:

(54) $$\epsilon^2 = \frac{1}{S_\epsilon^2} + g$$

worin

$$g = \frac{F f \sin^2\varrho}{f - F\cos^2\varrho}$$

Setzen wir in (33)

(55) $$\epsilon^2 = \frac{1}{S_\epsilon^2} + g + x$$

so ergiebt sich

$$(x + g - F)(x + g) = (1 - \sin^2\tau)(x + g - f)(x + g - F\sin^2\varrho)$$

Vernachlässigt man die Glieder mit $x^2$, so erhält man:

$$x[(f - F\cos^2\varrho) + \sin^2\tau(2g - f - F\sin^2\varrho)] = -\sin^2\tau[g^2 - g(f + F\sin^2\varrho) + Ff\sin^2\varrho]$$

oder

$$x\frac{(f - F\cos^2\varrho)^2 + \sin^2\tau[f(F-f) + F^2\sin^2\varrho\cos^2\varrho]}{f - F\cos^2\varrho} = -\frac{\sin^2\tau F^2 f(F-f)\sin^2\varrho\cos^2\varrho}{(f - F\cos^2\varrho)^2}$$

mithin

(56) $$x = -\frac{F^2 f(F-f)\sin^2\varrho\cos^2\varrho\sin^2\tau}{(f - F\cos^2\varrho)[(f - F\cos^2\varrho)^2 + \{f(F-f) + F^2\sin^2\varrho\cos^2\varrho\}\sin^2\tau]}$$

Ist $\varrho = \varrho_0$, $\tau_0 = 0$ oder $= \pi$, so wird $x = 0$ und wir erhalten die schon vorher angegebene Gleichung

(54*) $$\epsilon^2 = \frac{1}{S_\epsilon^2} + g_0$$

worin $g_0$ als eine Funktion von $\varrho_0$ aufzufassen ist. Ist $\tau$ um einen kleinen Werth $\beta$ von 0 oder $\pi$ verschieden, so können wir $\sin^2\tau = \beta^2$ setzen und gelangen dann zu der Gleichung:

(55*) $$\epsilon^2 = \frac{1}{S_\epsilon^2} + g_0 + x$$

worin:

(56*) $$x = -\frac{F^2 f(F-f)\beta^2\sin^2\varrho_0\cos^2\varrho_0}{(f - F\cos^2\varrho_0)[(f - F\cos^2\varrho_0)^2 + \{f(F-f) + F^2\sin^2\varrho_0\cos^2\varrho_0\}\beta^2]}$$

Ist endlich noch $\varrho = \varrho_0 + \alpha$, so wird $x$ dadurch keine Änderung erleiden; es wird sich nur $g_0$ in $g_1$ verwandeln:

Digitized by Google

$$g_1 = \frac{F f \sin^2(\varrho_0 + \alpha)}{f - F\cos^2(\varrho_0 + \alpha)} = \frac{F f \left(\sin^2\varrho_0 + \alpha \frac{\partial \sin^2\varrho_0}{\partial \varrho_0}\right)}{f - F\left(\cos^2\varrho_0 + \alpha \frac{\partial \cos^2\varrho_0}{\partial \varrho_0}\right)}$$

$$= \frac{F f \sin^2\varrho_0 + F f \alpha \sin 2\varrho_0}{f - F\cos^2\varrho_0 + F\alpha \sin 2\varrho_0} \qquad (57)$$

**Beispiel:** Für diesen Fall wähle ich ein Prisma eines optisch positiven Krystalls, dessen brechender Prismenwinkel $A = 60^0$ angenommen wird; die Minimum-Ablenkung $\Delta_o$ des ordentlichen Strahles betrage $30^0$, die Minimum-Ablenkung $\Delta_e$ des ausserordentlichen Strahles sei $34^0$. Die Lage der optischen Axe im Prisma ist durch $\tau_0 = 0$, $\varrho_0 = 45^0$ bestimmt.

Dann ist die Hauptlichtgeschwindigkeit o der ordentlichen Welle nach (25)

$$o^2 = \frac{1}{S_c^2} = 0.5 \quad , \quad o = 0.707106$$

Zur Ermittelung der Hauptlichtgeschwindigkeit e der ausserordentlichen Welle dient die Relation (54):

$$F = 1.1450854 \quad , \quad f = 0.0032604$$
$$\sin^2\varrho = \cos^2\varrho = \tfrac{1}{2}$$
$$e^2 = 0.4328232 \quad , \quad e = 0.657893$$

Dieser Werth für e ist jedoch nur dann richtig, wenn die vorgeschriebene Bedingung $\tau_0 = 0$, $\varrho_0 = 45^0$ genau erfüllt ist; ist dieses nicht der Fall, so sind an dem Resultat für e Correctionen vorzunehmen. Ich habe nun im Folgenden den umgekehrten Weg eingeschlagen und angenommen, dass sich das Resultat in der fünften Decimalstelle nach einander um 2, 4, 6, 8, 10 Einheiten ändere, um festzustellen, welchen Einfluss eine derartige Änderung auf $\varrho_0$ und $\tau_0$ ausübt. Löst man (56*) nach $\beta$ auf, so ergiebt sich

$$\beta^2 = -\frac{x(f - F\cos^2\varrho_0)^3}{x(f-F\cos^2\varrho_0)[f(F-f)+F^2\sin^2\varrho_0\cos^2\varrho_0]+f(F-f)F^2\sin^2\varrho\cos^2\varrho} \qquad (56^{**})$$

In unserem Falle wird:

$$\beta^2 = -\frac{x\left(f - \frac{F}{2}\right)^3}{x\left(f-\frac{F}{2}\right)\left[f(F-f)+\left(\frac{F}{2}\right)^2\right]+f(F-f)\left(\frac{F}{2}\right)^2} \qquad (56^{***})$$

Die Änderung $\alpha$ von $\varrho_0$ wird durch die Relation gegeben:

$$\frac{F f \sin^2\varrho_0}{f - F\cos^2\varrho_0} + z = \frac{F f \sin^2\varrho_0 + \alpha F f \sin 2\varrho_0}{f - F\cos^2\varrho_0 + \alpha F \sin 2\varrho_0} \qquad (57)$$



Digitized by Google

worin mit z derjenige Werth bezeichnet wird, um welchen sich $e^2$ ändert, wenn $\varrho = \varrho_0 + \alpha$ ist. Aus (57) folgt

$$(57^*) \qquad \alpha = -\frac{z\,(f - F\cos^2\varrho_0)^2}{F\sin 2\varrho_0\,[F\,f\sin^2\varrho_0 + (z-f)\,(f - F\cos^2\varrho_0)]}$$

Also ist in unserem Falle

$$(57^{**}) \qquad \alpha = -\frac{z\left(f-\frac{F}{2}\right)^2}{F\left[f\frac{F}{2} + (z-f)\left(f-\frac{F}{2}\right)\right]}$$

Machen wir jetzt die Annahme, dass e nach einander um 2, 4, 6, 8, 10 Einheiten in der fünften Decimalstelle abnehme, dass also:

| e | $e^2$ | x und z |
|---|---|---|
| 0.65789 | 0.4328232 | 0.0000000 |
| 0.65787 | 0.4327970 | 0.0000262 |
| 0.65785 | 0.4327707 | 0.0000525 |
| 0.65783 | 0.4327444 | 0.0000788 |
| 0.65781 | 0.4327180 | 0.0001052 |
| 0.65779 | 0.4326917 | 0.0001315 |

so erhalten wir aus (56***) und (57**):

| $\beta$ | | $\alpha$ | |
|---|---|---|---|
| 0.0000000 | — | — 0.0000000 | — |
| 0.0186282 | 1° 4′ | — 0.0001840 | — 0° 1′.3 |
| 0.0263752 | 1 34 | — 0.0003688 | — 1.3 |
| 0.0323201 | 1 51.1 | — 0.0005538 | — 2 |
| 0.0373520 | 2 8.4 | — 0.0007396 | — 2.5 |
| 0.0417698 | 2 23.6 | — 0.0009248 | — 3.2 |

Ändert sich z. B. $\tau_0$ um ungefähr 1° 51′.1, so wird, vorausgesetzt, dass $\varrho_0$ unverändert geblieben ist, der für e ermittelte Werth um sechs Einheiten der fünften Decimalstelle zu gross sein. Ein Vergleich der beiden Werthe $\alpha$, $\beta$ zeigt, dass $\tau_0$ bedeutend mehr vom wahren Werthe abweichen kann, als $\varrho_0$, dass ferner, wenn $\varrho_0$ und $\tau_0$ zu gleicher Zeit und in gleichem Sinne variiren, $\alpha$, $\beta$ in entgegengesetztem Sinne das Resultat beeinflussen.

Wird also der Fall III zur Bestimmung der Hauptlichtgeschwindigkeiten benutzt, so ist es nothwendig die Lage der

Digitized by Google

optischen Axe im Prisma genau zu bestimmen, da schon eine geringe Verschiebung derselben das Resultat wesentlich beeinflusst.

**IV.** Die optische Axe halbirt den Prismenwinkel A; demnach ist $\varrho_0 = 0$ oder $= \pi$, $\tau_0 = 0$ oder $= \pi$, und in (33) wird

(50a) $$e^2 = \frac{1}{S_e^2}$$

Es deckt sich also dieser Fall mit dem zweiten, wofern $\tau$ nicht mehr beliebig ist, sondern $= 0$ oder $= \pi$ gesetzt wird. Folglich ergiebt sich aus (33), wenn

(51a) $$e^2 = \frac{1}{S_e^2} + x$$

wird,

(52a) $$x = \frac{F f \sin^2\varrho \cos^2\tau}{(F \sin^2\varrho + f)\cos^2\tau - F}$$

Wird nun $\varrho_0 = 0$ oder $= \pi$, $\tau_0 = 0$ oder $= \pi$, so verschwindet x. Ist $\varrho_0 = 0$ oder $= \pi$, $\tau$ aber um eine kleine Grösse $\beta$ von 0 oder $\pi$ verschieden, so wird x ebenfalls der Null gleich; eine kleine Änderung von $\tau_0$ übt also keinen Einfluss auf das Resultat aus. Ist ferner $\varrho = 0 + \alpha$ oder $\pi + \alpha$ und $\tau_0 = 0$ oder $= \pi$, so wird

(58) $$x = \frac{F f \alpha^2}{F(1-\alpha^2) + f}$$

**Beispiel:** Die Lage der optischen Axe ist bestimmt durch $\tau_0 = 0$ oder $= \pi$, $\varrho_0 = 0$ oder $= \pi$. Der Winkel A des Prismas betrage $60^0$, die Minimum-Ablenkungen der gebrochenen Wellen haben die Werthe $\Delta_o = 30^0$, $\Delta_e = 34^0$. Alsdann ist wie in dem vorigen Fall (S. 33)

$$o = 0.707106 \quad , \quad F = 1.1450854 \quad , \quad f = 0.0032604$$

$$e^2 = \frac{1}{S_e^2} = 0.467396 \quad , \quad e = 0.683664$$

Ist jedoch $\varrho = \varrho_0 + \alpha$, so sind zur Bestimmung von e die Gleichungen (51a) und (58) gegeben. Löst man (58) nach $\alpha$ auf:

(59) $$\alpha^2 = \frac{x(f-F)}{F(f-x)}$$

so ist ersichtlich, dass bei diesem Beispiel x niemals positiv sein, der für $e^2$ aus (50a) gefundene Werth also niemals unter



Digitized by Google

dem wahren Werthe liegen kann. Denn f ist stets kleiner als F, mithin $f - F$ negativ; ist nun x positiv, so wird $\alpha^2$ negativ und $\alpha$ imaginär. Wir lassen jetzt wieder e in der fünften Decimalstelle wachsen und erhalten für x und $\alpha$ folgende Tabelle:

| e | $e^2$ | x | $\alpha$ | |
|---|---|---|---|---|
| 0.68366 | 0.4673956 | — 0.0000000 | — | — |
| 0.68368 | 0.4674233 | — 0.0000277 | 0.028733 | 1° 38′.8 |
| 0.68370 | 0.4674507 | — 0.0000551 | 0.040467 | 2 19.1 |
| 0.68372 | 0.4674781 | — 0.0000825 | 0.049507 | 2 50.2 |
| 0.68374 | 0.4675054 | — 0.0001098 | 0.057098 | 3 15.8 |
| 0.68376 | 0.4675327 | — 0.0001371 | 0.063780 | 3 39.3 |

Wir haben auf S. 35 gezeigt, dass eine kleine Änderung $\beta$ von $\tau_0$ in keiner Weise das Endresultat beeinflusst. Dieses ist jedoch nur dann richtig, wenn $\varrho_0 = 0$ oder $= \pi$ ist und $\beta$ einen solchen Werth hat, dass $\cos^2\beta = 1 - \beta^2$ gesetzt werden kann. Ist aber $\varrho_0 = \alpha$ und ist $\beta$ so gross, dass jene Annäherung nicht mehr zulässig ist, so wird in (51a) und (52a):

(51b) $$e^2 = \frac{1}{S_e^2} + x_1$$

(25b) $$x_1 = \frac{F f \alpha^2 \cos^2\beta}{(f + F\alpha^2)\cos^2\beta - F}$$

Ein Vergleich von (58) und (52b) zeigt, dass in (52b) der Zähler des Bruches kleiner, der Nenner dagegen grösser als in (58) ist; doch wird $x_1$ stets nur wenig von x verschieden sein. Setzt man z. B. $\alpha = 2^0\,50'.2$, $\beta = 5^0$, so wird in (58) und (52b)

$$x = -\frac{0.0000915}{1.1096749}\ ,\quad x_1 = -\frac{0.0000908}{1.1099438}$$
$$x = -0.0000825\ ,\quad x_1 = -0.0000818$$

Findet demnach in dem Falle IV gleichzeitig eine kleine Änderung der beiden Grössen $\varrho_0$, $\tau_0$ statt, so wird das Resultat nur durch die erstere und auch nur in geringem Maasse beeinflusst.

**V.** Die optische Axe halbirt den Aussenwinkel des Prismas; es ist in diesem Falle $\varrho_0 = \pi/2$, $\tau_0 = 0$ oder $= \pi$. Aus (33) und (34a) ergiebt sich

$$\frac{1}{S_e^2} = v^2$$

Digitized by Google

und wir erhalten für das Minimum der Ablenkung nur die constante Fortpflanzungsgeschwindigkeit der ordentlichen Welle. Weicht $\tau$ um eine kleine Grösse $\beta$ von 0 oder $\pi$ ab, so wird die rechte Seite der Gleichung (34 a) immerhin verhältnissmässig klein werden; m. a. W. es werden die Ablenkungen der ordentlichen und der ausserordentlichen Welle so nahe an einander liegen, dass eine Trennung beider kaum möglich sein wird. Es wäre also dieser Fall für die Bestimmung der Hauptlichtgeschwindigkeit der ausserordentlichen Welle höchst ungeeignet.

**VI.** Die Prismenkante ist parallel zur optischen Axe. Dieser Fall kommt am häufigsten zur Bestimmung der Hauptlichtgeschwindigkeiten in Anwendung. Es ist $\varrho$ unbestimmt, $\tau = \pi/2$; folglich wird

(50 a) $$e^2 = \frac{1}{S_e^2}$$

Wir setzen nun

(51 a) $$e^2 = \frac{1}{S_e^2} + x$$

und erhalten für x wie im zweiten Fall (S. 26)

(52 a) $$x = \frac{F f \sin^2\varrho \cos^2\tau}{(f + F\sin^2\varrho)\cos^2\tau - F}$$

Wird $\tau = \pi/2 + \beta$ und ändert sich $\varrho_0$ um eine kleine Grösse $\alpha$, so wird $\cos^2\tau = \sin^2\beta = \beta^2$ und

(53 a) $$x = \frac{F f \beta^2 \sin^2\varrho_0}{(F\sin^2\varrho_0 + f)\beta^2 - F}$$

Eine kleine Änderung von $\varrho_0$ kann also in diesem Falle vernachlässigt werden.

**Beispiel**: Es sei ein Prisma gegeben, dessen krystallographische Orientirung durch die beiden Winkel $\tau_0 = \pi/2$, $\varrho_0 = 45^0$ gegeben ist. Es sei ferner wie im IV. Fall $A = 60^0$, $\Delta_o = 30^0$, $\Delta_e = 34^0$; dann haben o, F, f, e ebenfalls dieselben Werthe wie in jenem Fall. Weicht $\tau$ um $\beta$ von $\tau_0 = \pi/2$ ab, so kann mit Hülfe von (52 a) und (53 a) e bestimmt werden. Um den Einfluss von $\beta$ auf das Resultat zu ermitteln, schlage ich denselben Weg ein wie in den vorher behandelten Fällen. Aus (53 a) ergiebt sich

(53*) $$\beta^2 = \frac{x F}{x f - F\sin^2\varrho\,(f - x)}$$

Digitized by Google

Hierin ist das zweite Glied des Nenners grösser als das erste und, da $f > x$ ist, stets negativ; es muss daher, damit $\beta$ nicht imaginär wird, x negativ werden.

Wir lassen jetzt e um je zwei Einheiten in der fünften Decimalstelle wachsen, so dass x dieselben Werthe annimmt wie im IV. Fall, und erhalten dann aus (53*):

$$\begin{aligned} \beta &= 0.0412248 = 2^0\,21'.7 \\ &= 0.0580592 = 3\ 19.6 \\ &= 0.0710268 = 4\ \ 4.2 \\ &= 0.0819163 = 4\ 41.6 \\ &= 0.0914995 = 5\ 14.5 \end{aligned}$$

Diese Rechnung zeigt, dass für $\varrho_0 = \pi/4$ die Abweichung von $\tau_0$ schon ziemlich gross sein muss, um das Resultat zu beeinflussen. Noch grösser kann $\beta$ werden, wenn $\varrho_0$ abnimmt; in diesem Falle wird nämlich in (53*) das zweite Glied des Nenners kleiner, mithin die rechte Seite grösser. Für $\varrho_0 = 0$ oder $= \pi$ ist

$$\beta^2 = \frac{F}{f}$$

d. h. es kann sich nun $\tau$ ganz beliebig ändern, ohne dass das Resultat beeinflusst wird. Andrerseits wird $\beta$ kleiner, wenn $\varrho_0$ wächst, und erreicht seinen Minimalwerth, wenn $\varrho_0 = \pi/2$ wird. Es ergiebt sich dann aus (53*)

$$\beta^2 = \frac{\frac{1}{f}}{\frac{1}{F} + \frac{1}{f} - \frac{1}{x}}$$

Setzen wir z. B. $x = -0.0001371$, so wird

$$\beta = 0.0646716 = 3^0\,42'.3$$

Beträgt also die Änderung von $\tau_0$ ca. $3^0\ 40'$, so wird, wenn das Prisma derart geschliffen ist, dass $\varrho_0$ annähernd $= \pi/2$ ist, die vierte Decimalstelle des Werthes für e um ungefähr eine Einheit zu gross sein; ist hingegen $\varrho_0$ annähernd $= \pi/4$, so wird erst die fünfte Decimalstelle eine Abweichung von etwa drei Einheiten zeigen. Ist endlich $\varrho_0$ annähernd $= 0$ oder $= \pi$, so wird die Änderung von $\tau_0$ keinen Einfluss auf das Resultat ausüben (vgl. S. 26). Hieraus ergiebt sich, dass man am zweckmässigsten zur Bestimmung der Hauptlichtgeschwindigkeiten ein Prisma verwendet, dessen brechende Kante mit der optischen Axe einen möglichst kleinen Winkel

Digitized by Google

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

bildet und dessen Hauptschnitt mit der Halbirungsebene des inneren Prismenwinkels nahezu zusammenfällt.

Fassen wir die gewonnenen Resultate zusammen, so sind folgende Punkte hervorzuheben.

Zur Bestimmung der Hauptlichtgeschwindigkeiten eines optisch einaxigen Krystalls mit Hülfe des Minimums der Ablenkung wendet man am zweckmässigsten, wenn geeignete Krystallflächen nicht vorhanden sind, ein Prisma an, welches möglichst genau nach dem II., IV. oder VI. Symmetriefall geschliffen ist. Bei der Herstellung desselben ist namentlich darauf zu achten, dass der Hauptschnitt der Prismenkante gegen die Halbirungsebene des inneren Prismenwinkels nur wenig geneigt ist; eine Vergleichung der bei den einzelnen Symmetriefällen gegebenen Tabellen zeigt, dass diese Neigung im Allgemeinen $2^0$ nicht überschreiten darf; doch wird sie für verschiedene Substanzen und verschiedene Werthe von $\tau_0$ verschieden sein können. Der wahre Werth jener Neigung und sein Einfluss auf das Endresultat ist mit Hülfe der vorher gegebenen Formeln zu berechnen.

Liegt ein solches Prisma vor, so berechnet man die wahren Werthe der Hauptlichtgeschwindigkeiten o, e direct aus

$$o = \frac{1}{S_o} \quad , \quad e = \frac{1}{S_e}$$

ohne die krystallographische Orientirung der Prismenflächen zu benutzen.

Weniger einfach gestaltet sich die Rechnung, wenn die Bestimmung von o, e nach dem I. oder III. Fall erfolgt. Hier können nur dann die dort gegebenen Annäherungen in Anwendung kommen, wenn die Ein- und Austrittsfläche des Prismas natürliche Flächen sind. Werden polirte Flächen benutzt, so hat man stets die Lage der optischen Axe im Prisma genau zu bestimmen, da schon eine sehr kleine Änderung derselben das Resultat wesentlich beeinflusst.

Der V. Fall liefert nur die Geschwindigkeit der ordentlichen Welle; zur Ermittelung der Hauptlichtgeschwindigkeit der ausserordentlichen Welle ist ein Einfallswinkel zu benutzen, der eine vom Minimum sich möglichst weit entfernende Ablenkung bewirkt.

---

Digitized by Google

## Optisch zweiaxige Krystalle.

Es bedeuten X, Y, Z die Axen der grössten, mittleren und kleinsten optischen Elasticität, $\alpha_1 \ldots\ldots \gamma_2$ die Richtungscosinusse von X', Y', Z' in Bezug auf jene Axen:

(1)

| | X | Y | Z |
|---|---|---|---|
| X' | $\alpha$ | $\beta$ | $\gamma$ |
| Y' | $\alpha_1$ | $\beta_1$ | $\gamma_1$ |
| Z' | $\alpha_2$ | $\beta_2$ | $\gamma_2$ |

Bedeuten ferner $a$, $b$, $c$ $(a > b > c)$ die drei Hauptlichtgeschwindigkeiten des Krystalls, so ist[1]:

(2) $$a b^2 c^2 + b c^2 a^2 + c a^2 b^2 + d a^2 + e b^2 + f c^2 + g = 0$$

worin:

(3)
$$\begin{aligned}
a &= \alpha^2 \cos^2\psi + \alpha_1^2 \sin^2\psi + 2\alpha\alpha_1 \cos\psi \sin\psi \\
b &= \beta^2 \cos^2\psi + \beta_1^2 \sin^2\psi + 2\beta\beta_1 \cos\psi \sin\psi \\
c &= \gamma^2 \cos^2\psi + \gamma_1^2 \sin^2\psi + 2\gamma\gamma_1 \cos\psi \sin\psi \\
d &= -p^2[(\beta^2+\gamma^2)\cos^2\psi + (\beta_1^2+\gamma_1^2)\sin^2\psi + 2(\beta\beta_1+\gamma\gamma_1)\cos\psi\sin\psi] \\
e &= -p^2[(\gamma^2+\alpha^2)\cos^2\psi + (\gamma_1^2+\alpha_1^2)\sin^2\psi + 2(\gamma\gamma_1+\alpha\alpha_1)\cos\psi\sin\psi] \\
f &= -p^2[(\alpha^2+\beta^2)\cos^2\psi + (\alpha_1^2+\beta_1^2)\sin^2\psi + 2(\alpha\alpha_1+\beta\beta_1)\cos\psi\sin\psi] \\
g &= p^4
\end{aligned}$$

Mit Hülfe dieser Relation ist man in der Lage, an einem Prisma bei gegebener krystallographischer Orientirung die drei Hauptlichtgeschwindigkeiten $a$, $b$, $c$ zu ermitteln.

Die Lösung ist aber, wie Hr. Th. Liebisch gezeigt hat, im Allgemeinen fünfdeutig. Um Eindeutigkeit zu erzielen, müssen für $a$, $b$, $c$ Näherungswerthe $a_0$, $b_0$, $c_0$ gegeben sein.

Zur Ermittelung derselben kann man folgenden Weg einschlagen.

Es seien an einem beliebig geschnittenen Prisma, dessen krystallographische Orientirung bekannt ist, d. h. für welches die Richtungscosinusse $\alpha \ldots\ldots \gamma_2$ gegeben sind, sechs Werthepaare $\psi$, $p$ bestimmt und aus den zugehörigen Gleichungen:

$$a_h b_0^2 c_0^2 + b_h c_0^2 a_0^2 + c_h a^2 b^2 + d_h a^2 + e_h b^2 + f_h c^2 + g_h = 0$$

worin

$$h = 1, 2, \ldots 6,$$

---

[1] Vgl. Th. Liebisch: Über die Bestimmung der Lichtbrechungsverhältnisse etc. S. 24.

Digitized by Google

die Producte $b_0^2 c_0^2$, $c_0^2 a_0^2$, $a_0^2 b_0^2$ und die Quadrate $a_0^2$, $b_0^2$, $c_0^2$, berechnet; bezeichnet man

$$b_0^2 c_0^2 = A \quad , \quad c_0^2 a_0^2 = B \quad , \quad a_0^2 b_0^2 = C$$
$$a_0^2 = A_1 \quad , \quad b_0^2 = B_1 \quad , \quad c_0^2 = C_1$$

so ergeben sich folgende Näherungswerthe

$$a_0^2 = \sqrt{\frac{BC}{A}} \quad , \quad b_0^2 = \sqrt{\frac{AC}{B}} \quad , \quad c_0^2 = \sqrt{\frac{AB}{C}}$$
$$a_0^2 = A_1 \quad , \quad b_0^2 = B_1 \quad , \quad c_0^2 = C_1$$

Wären die Beobachtungen absolut genau, so müsste

$$A_1^2 = \frac{BC}{A} \quad , \quad B_1^2 = \frac{AC}{B} \quad , \quad C_1^2 = \frac{AB}{C}$$

sein. Da aber $A \ldots . C_1$ mit Fehlern behaftet sind, so kann man etwa noch durch Vereinigung je zweier unter einander stehender Werthe $a_0^2$, $b_0^2$, $c_0^2$ genauere Näherungswerthe $a_1^2$, $b_1^2$, $c_1^2$ erhalten:

$$a_1^2 = \sqrt[4]{\frac{BCA_1^2}{A}} \quad , \quad b_1^2 = \sqrt[4]{\frac{ACB_1^2}{B}} \quad , \quad c_1^2 = \sqrt[4]{\frac{ABC_1^2}{C}}$$

Führt man diese in (2) ein, indem man setzt

$$a^2 = a_1^2 + x \quad , \quad b^2 = b_1^2 + y \quad , \quad c^2 = c_1^2 + z$$

so nimmt (2), da x, y, z kleine Grössen sind, deren Producte gegen sie selbst vernachlässigt werden können, die Form an:

(4) $f_1 + x(bc_1^2 + cb_1^2 + d) + y(ac_1^2 + ca_1^2 + e) + z(ab_1^2 + ba_1^2 + f) = 0$

worin:

(5) $f_1 = f(a_1^2 b_1^2 c_1^2) = ab_1^2 c_1^2 + bc_1^2 a_1^2 + ca_1^2 b_1^2 + da_1^2 + eb_1^2 + fc_1^2 + g$

oder mit Rücksicht auf

$$d = -p^2(b + c) \quad , \quad e = -p^2(c + a) \quad , \quad f = -p^2(a + b)$$

können wir den Gleichungen (4) und (5) folgende Form ertheilen:

(4*) $f_1 - x\{b(p^2 - c_1^2) + c(p^2 - b_1^2)\} - y\{a(p^2 - c_1^2) + c(p^2 - a_1^2)\}$
$- z\{a(p^2 - b_1^2) + b(p^2 - a_1^2)\} = 0$

worin:

(5*) $f_1 = a(p^2 - b_1^2)(p^2 - c_1^2) + b(p^2 - c_1^2)(p^2 - a_1^2) + c(p^2 - a_1^2)(p^2 - b_1^2)$

Aus den Beobachtungen kann man nun mit Hülfe von (4*) und (5*) nach der Methode der kleinsten Quadrate die Hauptlichtgeschwindigkeiten bestimmen.

In den durch Symmetrieeigenschaften ausgezeichneten Fällen[1] vereinfachen sich die Gleichungen (4*) und (5*), wie das folgende Beispiel zeigt.

[1] Vgl. Th. Liebisch: a. a. O. S. 26—30.

Digitized by Google

## Anglesit vom Monte Poni.

Zur Untersuchung lag ein wasserheller, vollkommen durchsichtiger Krystall von ca. 7 mm. Länge und 10 mm. Breite vor. Bezeichnet man das Spaltungsprisma m = (110) und das Prisma d = (102), so ist das Verhältniss der Axeneinheiten[1]:

$$a : b : c = 0.7852 : 1 : 1.2894$$

An dem vorliegenden Krystall wurden beobachtet:

| | | | |
|---|---|---|---|
| a = (100) = $\infty\breve{P}\infty$ | | o = (011) = $\breve{P}\infty$ | |
| b = (010) = $\infty\breve{P}\infty$ | | z = (111) = P | |
| c = (001) = 0P | | r = (221) = 2P | |
| d = (102) = $\frac{1}{2}\breve{P}\infty$ | | y = (122) = $\breve{P}2$ | |
| m = (110) = $\infty$P | | $\mu$ = (124) = $\frac{1}{2}\breve{P}2$ | |
| l = (104) = $\frac{1}{4}\breve{P}\infty$ | | p = (324) = $\frac{3}{4}\breve{P}\frac{3}{2}$ | |

Alle Flächen sind eben und gut spiegelnd, nur c zeigt eine sehr zarte Streifung parallel zur Axe $\breve{a}$ und liefert drei von einander wohl getrennte scharfe Reflexe, von denen der in der Mitte liegende der Fläche c, die beiden anderen zwei, in der Zone $[c\bar{b}]$ liegenden Flächen angehören.

Tabelle der gemessenen Flächenwinkel.

| gemessen | | | | Mittel | V. von Lang berechnet |
|---|---|---|---|---|---|
| Zone 100, 110 [001] | | | | | |
| 110 : 100 | 38° 7′ 51″ | $\bar{1}\bar{1}0 : \bar{1}00$ | 38° 7′ 53″ | 38° 7′ 52″ | 38° 8′ 18″ |
| 110 : $\bar{1}$10 | 103 43 10 | $\bar{1}\bar{1}0 : 1\bar{1}0$ | 103 42 45 | 103 42 58 | 103 43 30 |
| 110 : 1$\bar{1}$0 | 76 17 18 | $\bar{1}\bar{1}0 : \bar{1}10$ | 76 16 33 | 76 16 56 | 76 16 5 |
| Zone 1$\bar{1}$0, 001 [$\bar{1}\bar{1}$0] | | | | | |
| $\bar{1}$10 : 001 | 89°59′ 42″ | 1$\bar{1}$0 : 001 | 90° 0′ 24″ | 90° 0′ 3″ | 90° 0′ 00″ |
| $\bar{1}$10 : $\bar{1}$11 | 25 35 24 | 1$\bar{1}$0 : 1$\bar{1}$1 | 25 34 59 | 25 35 12 | 25 35 30 |
| $\bar{1}$10 : $\bar{2}$21 | 13 27 40 | | | | 13 28 24 |
| Zone 100, 001 [0$\bar{1}$0] | | | | | |
| 100 : 001 | 89°59′ 19″ | $\bar{1}$00 : 001 | 90° 0′ 30″ | 89°59′ 55″ | 90° 0′ 00″ |
| 100 : 104 | 67 40 53 | $\bar{1}$00 : $\bar{1}$04 | 67 41 28 | 67 41 11 | 67 40 48 |
| 100 : 102 | 50 37 1 | $\bar{1}$00 : $\bar{1}$02 | 50 37 6 | 50 37 4 | 50 36 36 |

[1] V. v. Lang: Versuch einer Monographie des Bleivitriols. Sitzungsber. d. Wiener Akad. 1859, **36**, 247.

Digitized by Google

| gemessen | | | | Mittel | V. von Lang berechnet |
|---|---|---|---|---|---|
| Zone 110, 001 [1$\bar{1}$0] | | | | | |
| 110 : 001 | 89° 59′ 23″ | $\bar{1}$10 : 001 | 90° 1′ 13″ | 90° 0′ 18″ | 90° 0′ 00″ |
| | | $\bar{1}$10 : $\bar{1}\bar{1}$1 | 25 35 42 | | 25 35 30 |
| | | $\bar{1}$10 : $\bar{2}\bar{2}$1 | 13 28 13 | | 13 28 24 |
| Zone 011, 001 [100] | | | | | |
| 001 : 011 | 52° 10′ 51″ | 001 : 0$\bar{1}\bar{1}$ | 127° 48′ 36″ | 52° 11′ 8′ | 52° 12′ 18″ |
| Zone 100, 011 [0$\bar{1}$1] | | | | | |
| 100 : 122 | 63° 17′ 15″ | $\bar{1}$22 : $\bar{1}$00 | 63° 17′ 38″ | 63° 17′ 30″ | 63° 17′ 18″ |
| | | $\bar{1}$22 : $\bar{1}\bar{2}\bar{2}$ | 63 17 37 | | |
| 100 : 011 | 90 0 27 | $\bar{1}$00 : 011 | 90 0 2 | 90 0 2 | 90 |
| | | $\bar{1}$00 : 0$\bar{1}\bar{1}$ | 89 59 38 | | |
| | | $\bar{1}$00 : $\bar{1}$11 | 44 49 16 | | 44 49 0 |
| Zone 011, $\bar{1}$24 [2$\bar{1}$1] | | | | | |
| 011 : $\bar{1}$24 | 26° 54′ 5″ | 0$\bar{1}\bar{1}$ : 1$\bar{2}\bar{4}$ | 26° 53′ 35″ | 26° 53′ 50″ | 26° 55′ 0″ |
| 011 : $\bar{1}$02 | 61 42 20 | | | | 61 43 42 |
| | | $\bar{1}$02 : $\bar{3}\bar{2}\bar{4}$ | 24 48 26 | | 24 49 0 |
| | | $\bar{1}$02 : $\bar{1}\bar{1}$1 | 38 22 18 | | 38 22 12 |
| Zone 124, 001 [2$\bar{1}$0] | | | | | |
| 001 : 1$\bar{2}\bar{4}$ | 37° 23′ 8″ | 001 : $\bar{1}$24 | 37° 22′ 43″ | 37° 22′ 56″ | 37° 23′ 30″ |
| | | 001 : $\bar{1}$22 | 56 48 14 | | 56 48 30 |
| Zone 1$\bar{1}$0, 1$\bar{2}$4 [$\bar{4}\bar{4}$1] | | | | | |
| 1$\bar{1}$0 : 1$\bar{2}\bar{4}$ | 55° 3′ 37″ | | | | 53° 3′ 0″ |
| | | $\bar{1}$10 : $\bar{1}$04 | 72° 37′ 1″ | | 72 37 12 |
| | | $\bar{1}$10 : $\bar{3}$24 | 37 2 59 | | 37 2 36 |
| Zone 110, 324 [4$\bar{4}\bar{1}$] | | | | | |
| 110 : 324 | 37° 3′ 27″ | | | | 37° 2′ 36″ |
| 110 : 104 | 72 37 2 | | | | 72 37 12 |

Je eine Fläche des Prismas m und die gegenüberliegende Fläche des Makropinakoids a bilden ein Prisma von der Beschaffenheit, dass in seiner Querschnittsebene ein Durchgang des Lichtes stattfinden kann. Es wurde einmal $\bar{1}$10 zur Eintrittsfläche und 100 zur Austrittsfläche, das andere Mal 110 zur Eintrittsfläche und $\bar{1}$00 zur Austrittsfläche gewählt. Ich bezeichne die erste Combination als Prisma I, die zweite als Prisma II (vgl. Taf. II Fig. 8 u. 7).

Bei dieser Wahl der Prismen fällt, da 010 Ebene der optischen Axen, $\breve{a}$ erste Mittellinie und Axe der kleinsten

Digitized by Google

Elasticität Z ist, die Prismenkante Z' mit X zusammen[1]. Bezeichnet man $(X'Y) = (Y'Z) = \mu$, so erhalten die Richtungscosinusse $\alpha \ldots . \gamma_2$ die Werthe

| | X | Y | Z |
|---|---|---|---|
| X' | 0 | $\cos\mu$ | $-\sin\mu$ |
| Y' | 0 | $\sin\mu$ | $\cos\mu$ |
| Z' | 1 | 0 | 0 |

Demnach ergiebt sich aus (3)

$$\left|\begin{array}{l} a = 0 \quad , \quad b = \cos^2(\psi-\mu) \quad , \quad c = \sin^2(\psi-\mu) \\ d = -p^2 \quad , \quad e = -p^2\sin^2(\psi-\mu) \quad , \quad f = -p^2\cos^2(\psi-\mu) \quad , \quad g = p^4 \end{array}\right.$$

und aus (2) folgt:

$$(6) \qquad \left|\begin{array}{l} p = a \\ p^2 = b^2\sin^2(\psi-\mu) + c^2\cos^2(\psi-\mu) \end{array}\right.$$

Zur Berechnung von a, p dienen:

$$(7) \qquad \left|\begin{array}{l} \tan\left(r_1 - \frac{A}{2}\right) = \tan\frac{A}{2}\tan\left(i - \frac{A+D_1}{2}\right)\cot\frac{A+D_1}{2} \\ a = \frac{\sin r_1}{\sin i} \end{array}\right.$$

$$(8) \qquad \left|\begin{array}{l} \tan\left(r_2 - \frac{A}{2}\right) = \tan\frac{A}{2}\tan\left(i - \frac{A+D_2}{2}\right)\cot\frac{A+D_2}{2} \\ p = \frac{\sin r_2}{\sin i} \end{array}\right.$$

Es genügen also zwei Werthepaare $\psi$, p, um daraus die beiden Hauptlichtgeschwindigkeiten b, c zu berechnen. Da jedoch die Beobachtungsfehler dann das Resultat zu sehr beeinflussen würden, so wird man meist eine grössere Reihe von Beobachtungen anstellen, aus jeder derselben $\psi$, p berechnen und nach der Methode der kleinsten Quadrate b, c bestimmen.

Ich ermittelte an dem Prisma I für sechs, an Prisma II für fünf verschiedene Einfallswinkel die Hauptlichtgeschwindigkeit a und die denselben Einfallswinkeln entsprechenden Geschwindigkeiten p. Alle Beobachtungen wurden bei Na-Licht und, da die Flächen 010, 110, $\bar{1}10$, $0\bar{1}0$ fast genau in einer Zone liegen, in der Einfallsebene senkrecht zur Axe c vorgenommen. Es ist bei $T = 19^0.4$ C.

$\bar{1}10 : 100 = A_1 = 38^0\ 8'\ 58''.70$
$110 : \bar{1}00 = A_2 = 38\ 7\ 34.80$
$110 : \bar{1}10 = m/m = 103\ 43\ 10.00$

[1] Vgl. Th. Liebisch: Über die Bestimmung der Lichtbr. S. 29.

Digitized by Google

Die beiden Flächen 100 und $\bar{1}00$ sind also nicht vollkommen einander parallel, sondern bilden den Winkel 16″.50. Dann wird, wie aus Taf. II Fig. 8 und 7 zu entnehmen ist,

$$\mu = \frac{\pi}{2} - \frac{A_1 + (m/m)}{2} \text{ resp. } \frac{\pi}{2} - \frac{A_2 + (m/m)}{2}$$

oder:

$$\mu = 19^\circ\ 3'\ 55''.80 \text{ resp. } = 19^\circ\ 4'\ 37''.60$$

Aus den gemessenen Werthen

| | T | i | $D_1$ | $D_2$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 18°.8 | 53° 36′ 32″.65 | 39° 56′ 18″.40 | 40° 11′ 3″.90 |
| 2 | 18.8 | 46 36 33.93 | 38 17 53.40 | 38 33 49.85 |
| 3 | 20 | 39 36 34.90 | 37 32 50.05 | 37 50 35.33 |
| 4 | 19—21.3 | 32 36 20.35 | 37 49 46.60 | 38 10 15.10 |
| 5 | 21.3—22.5 | 25 36 9.15 | 39 28 54.90 | 39 54 37.80 |
| 6 | 18—18.8 | 18 36 22.03 | 43 31 56.20 | 44 9 15.00 |
| 7 | 19.3 | 50 54 35.20 | 39 10 41.85 | 39 25 42.95 |
| 8 | 17.8 | 45 54 35.70 | 38 9 46.20 | 38 25 53.55 |
| 9 | 17.8 | 41 24 37.43 | 37 38 12.50 | 37 55 21.70 |
| 10 | 18.8 | 36 24 38.13 | 37 31 11.30 | 37 50 2.10 |
| 11 | 19 | 30 59 42.35 | 38 8 11.80 | 38 24 40.10 |

ergiebt sich nach (7) und (8):

| | $r_1$ | a | $r_2$ | p |
|---|---|---|---|---|
| I | 25° 23′ 45″.71 | 0.5327691 | 25° 18′ 48″.81 | 0.5311532 |
| | 22 46 39.87 | 0.5327700 | 22 42 4.08 | 0.5310731 |
| | 19 51 31.58 | 0.5328218 | 19 47 20.65 | 0.5310267 |
| | 16 41 7.31 | 0.5328267 | 16 37 27.56 | 0.5309326 |
| | 13 18 43.08 | 0.5328379 | 13 15 36.15 | 0.5307968 |
| | 9 47 14.81 | 0.5327943 | 9 44 48.36 | 0.5306012 |
| II | 24 25 32.91 | 0.5327740 | 24 20 46.07 | 0.5311421 |
| | 22 29 48.88 | 0.5327328 | 22 25 14.61 | 0.5310220 |
| | 20 37 56.00 | 0.5327222 | 20 33 38.95 | 0.5309585 |
| | 18 26 3.60 | 0.5327406 | 18 22 5.98 | 0.5308990 |
| | 15 55 20.54 | 0.5327682 | 15 51 47.05 | 0.5307910 |

Mittelwerth: $a = 0.532778$

Ferner ist:

$$\psi = \frac{\pi}{2} + \left(r - \frac{A}{2}\right)$$

Digitized by Google

| | | $\psi$ | $\psi - \mu$ |
|---|---|---|---|
| I | 1 | 96° 14′ 19″.61 | 77° 10′ 23″.81 |
| | 2 | 93 37 34.88 | 74 33 39.08 |
| | 3 | 90 42 51.45 | 71 38 55.65 |
| | 4 | 87 32 58.36 | 68 29 2.56 |
| | 5 | 84 11 6.95 | 65 7 11.15 |
| | 6 | 80 40 19.16 | 61 36 23.36 |
| II | 7 | 95 16 58.67 | 76 12 21.07 |
| | 8 | 93 21 27.21 | 74 16 49.61 |
| | 9 | 91 29 51.55 | 72 25 13.95 |
| | 10 | 89 18 18.58 | 70 13 40.98 |
| | 11 | 86 47 59.65 | 67 43 22.05 |

Zur Berechnung der beiden Hauptlichtgeschwindigkeiten b und c dient

$$p_h^2 - b^2 \sin^2(\psi - \mu)_h - c^2 \cos^2(\psi - \mu)_h = 0$$

worin:

$$h = 1, 2, \ldots\ldots, 11.$$

Nach der Methode der kleinsten Quadrate erhält man die Normalgleichungen

$$\sum_1^{11} h \cos^2(\psi-\mu)p^2 - b^2 \sum_1^{11} h \sin^2(\psi-\mu)\cos^2(\psi-\mu) - c^2 \sum_1^{11} h \cos^4(\psi-\mu) = 0$$

$$\sum_1^{11} h \sin^2(\psi-\mu)p^2 - b^2 \sum_1^{11} h \sin^4(\psi-\mu) - c^2 \sum_1^{11} h \sin^2(\psi-\mu)\cos^2(\psi-\mu) = 0$$

Für die Coëfficienten fand ich die Werthe;

$$\begin{aligned}
&\Sigma \cos^2(\psi-\mu)\, p^2 &&= 0.3484905\\
&\Sigma \sin^2(\psi-\mu)\, p^2 &&= 2.7524395\\
&\Sigma \sin^2(\psi-\mu)\cos^2(\psi-\mu) &&= 1.0680163\\
&\Sigma \sin^4(\psi-\mu) &&= 8.6954442\\
&\Sigma \cos^4(\psi-\mu) &&= 0.1685226
\end{aligned}$$

so dass die beiden Normalgleichungen lauten:

$$\begin{aligned}
&0.3484905 - 1.0680163\, b^2 - 0.1685226\, c^2 = 0\\
&2.7524395 - 8.6954442\, b^2 - 1.0680163\, c^2 = 0
\end{aligned}$$

Hieraus ergiebt sich

$$b = 0.531277 \quad , \quad c = 0.528301$$

Wir erhalten also für die Hauptlichtgeschwindigkeiten des Anglesits bei T = 19°.4 C.

$$a = 0.532778 \quad , \quad b = 0.531277 \quad , \quad c = 0.528301$$

Digitized by Google

Hr. Arzruni[1] hat vermittelst dreier Prismen, deren Kanten den drei Elasticitätsaxen annähernd parallel liefen, an denen die krystallographische Orientirung aber nicht näher bestimmt wurde, die Werthe gefunden für $T = 20^0$:

| | C | D | F | | C | D | F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\alpha$ = | 1.86981 | 1.87709 | 1.89549 | a = | 0.53481 | 0.53274 | 0.52757 |
| $\beta$ = | 1.87502 | 1.88226 | 1.90097 | b = | 0.53333 | 0.53128 | 0.52605 |
| $\gamma$ = | 1.88630 | 1.89365 | 1.91263 | c = | 0.53014 | 0.52808 | 0.52284 |

Nach Des Cloizeaux[2] ist

| | roth | gelb | | roth | gelb |
|---|---|---|---|---|---|
| $\alpha$ = | 1.8740 | 1.8770 | a = | 0.53362 | 0.53277 |
| $\beta$ = | 1.8795 | 1.8830 | b = | 0.53206 | 0.53107 |
| $\gamma$ = | 1.8924 | 1.8970 | c = | 0.52843 | 0.52714 |

Die von Hrn. Arzruni ermittelten Werthe stimmen fast genau mit den von mir gefundenen überein, nur c zeigt eine Abweichung von 0.00022.

---

Sind die in den einzelnen Symmetriefällen vorgeschriebenen Bedingungen nicht strenge erfüllt, so geht man am sichersten, nachdem man sich Näherungswerthe verschafft hat, auf den allgemeinen Fall (S. 40, 41) zurück und berechnet mit jenen Gleichungen die Hauptlichtgeschwindigkeiten.

Die Ermittelung von Näherungswerthen kann auf die verschiedenste Weise geschehen. Um ein Beispiel hierfür zu geben, benutze ich die von Hrn. Glazebrook[3] an einem Aragonitprisma ausgeführten Beobachtungen und gebe den Weg an, auf dem man dazu gelangen kann mit Hülfe dieses einen Aragonitprismas, welches Hr. Glazebrook selbst nur zur Ermittelung von zwei Hauptlichtgeschwindigkeiten (b und c) benutzt hat, alle drei Hauptlichtgeschwindigkeiten zu bestimmen.

---

[1] A. Arzruni: Über den Einfluss der Temperatur auf die Brechungsexponenten der natürlichen Sulfate des Barium, Strontium und Blei. Zeitschrift f. Kryst. etc. 1877, 1, 166.

[2] Annuaire pour l'an 1880, publié par le bureau des longitudes. Paris. p. 634.

[3] R. T. Glazebrook: On Plane Waves in a Biaxal Crystal. (An Experiment. Determination of the Values of the Veloc. of Norm. Propag. of Plane Waves in different directions in Biaxal Cryst., and a Comp. of the Results with Theory.) Philos. Trans. London 1879, 1, 287—377.

Digitized by Google

An dem Aragonitkrystall, welchen Hr. GLAZEBROOK „aus Deutschland erhalten hatte", waren das Prisma m = (110) und das Flächenpaar b = (010) ausgebildet. Es wurden zwei Flächen P, P' derart angeschliffen, dass ihre Schnittgerade nahezu parallel zur Axe $\breve{a}$ war. Der Winkel A = P : P' betrug 42° 50' 30''. Diese beiden Flächen waren abwechselnd Ein- und Austrittsfläche.

Aragonit hat einen negativen Charakter der Doppelbrechung und die Ebene der optischen Axen ist a = (100). Demnach fallen die Axen $\dot{c}$, $\breve{a}$, $\bar{b}$ der Reihe nach mit den optischen Symmetrieaxen X, Y, Z zusammen. Man wird also mit Hülfe eines Prismas, dessen brechende Kante parallel zur Axe $\breve{a}$ ist, während die Halbirungsgerade des inneren Prismenwinkels mit der Axe Z zusammenfällt, die Hauptlichtgeschwindigkeiten b, c direct vermittelst des Minimums der Ablenkung bestimmen können. Zur Berechnung des Quadrates der dritten Hauptlichtgeschwindigkeit ist mindestens ein Werthepaar $\psi$, p erforderlich[1]. Die Richtungscosinusse $\alpha \ldots . \gamma_2$ nehmen in dem vorliegenden Falle die Werthe an:

| | X | Y | Z |
|---|---|---|---|
| X' | 0 | 0 | 1 |
| Y' | 1 | 0 | 0 |
| Z' | 0 | 1 | 0 |

Demnach ergiebt sich aus (3)

$$\left| \begin{array}{c} a = \sin^2\psi \;,\; b = 0 \;,\; c = \cos^2\psi \;, \\ d = -p^2\cos^2\psi \;,\; e = -p^2 \;,\; f = -p^2\sin^2\psi \;,\; g = p^4 \end{array} \right.$$

Bei dem Minimum der Ablenkung ist $\psi = \pi/2$ und

$$\left| \begin{array}{c} a = 1 \;,\; b = 0 \;,\; c = 0 \\ d = 0 \;,\; e = -p^2 \;,\; f = -p^2 \;,\; g = p^4 \end{array} \right.$$

und es folgt aus (2):

$$p = c \;,\; p = b$$

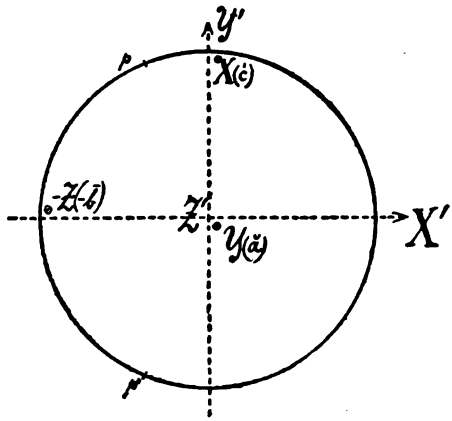
Für das Quadrat der dritten Hauptlichtgeschwindigkeit α liefert (1)

$$(9) \qquad p^2 = a^2\cos^2\psi + c^2\sin^2\psi$$

[1] Vgl. TH. LIEBISCH: Über die Best. der Lichtbrechungsverh. S. 30.

Digitized by Google

Diese Gleichungen setzen voraus, dass die Prismenkante parallel zur Axe $\breve{a}$ ist. Bei dem vorliegenden Beispiel ist dieses jedoch keineswegs der Fall (vgl. die nebenstehende Figur); um die Abweichung festzustellen, sind zunächst die Richtungscosinusse $\alpha \ldots . \gamma_1$ zu ermitteln. Gegeben sind dazu die Winkel, welche die Normalen p, p' der Flächen P, P' mit $\breve{a}$, $\breve{b}$ bilden[1]:




| | |
|---|---|
| $(p\,a) = 88^\circ\,52'\,40''$ | $(p'\,a) = 91^\circ\,\;6'\,30''$ |
| $(p\,b) = 67\;\;10\;\;35$ | $(p'\,b) = 69\;\;59\;\;20$ |

Die Neigung von p resp. p' gegen c findet man aus

$$\cos^2(p\,c) = -\cos\{(p\,b) - (p\,a)\}\cos\{(p\,b) + (p\,a)\}$$
$$\cos^2(p'\,c) = \;\;\cos\{(p'\,b) - (p'\,a)\}\cos\{(p'\,b) + (p'\,a)\}$$

$$(p\,c) = 22^\circ\,51'\,16'' \;\;,\;\; (p'\,c) = 159^\circ\,57'\,20''$$

Für den Winkel $(p\,p')$ gilt:

$$\cos(p\,p') = \cos(p\,a)\cos(p'\,a) + \cos(p\,b)\cos(p'\,b) + \cos(p\,c)\cos(p'\,c)$$
$$(p\,p') = 137^\circ\,9'\,55''$$
$$\text{gemessen } (p\,p') = 137\;\;9\;\;30$$

Alsdann kann man jene Richtungscosinusse aus folgenden Gleichungen berechnen, worin

$$\frac{(p'\,a) + (p\,a)}{2} = s_a \;\;,\;\; \frac{(p'\,a) - (p\,a)}{2} = t_a$$

und die analogen Ausdrücke, welche b, c an Stelle von a enthalten, mit $s_b$, $t_b$, $s_c$, $t_c$ bezeichnet sind:

$$\alpha = -\frac{\cos s_c \cos t_c}{\cos\frac{p\,p'}{2}} \qquad \alpha_1 = \frac{\sin s_c \sin t_c}{\sin\frac{p\,p'}{2}}$$

$$\beta = \;\;\frac{\cos s_a \cos t_a}{\cos\frac{p\,p'}{2}} \qquad -\beta_1 = \frac{\sin s_a \sin t_a}{\sin\frac{p\,p'}{2}}$$

[1] Glazebrook a. a. O. 296.



Digitized by Google

$$\gamma = \frac{\cos s_b \cos t_b}{\cos \frac{pp'}{2}} \qquad -\gamma_1 = \frac{\sin s_b \sin t_b}{\sin \frac{pp'}{2}}$$

Man findet:

| | X | Y | Z |
|---|---|---|---|
| X' | $\alpha = \cos 88^0\,35'\,35'' = 0.024554$ | $\beta = \cos 89^0\,58'\,52'' = 0.000332$ | $\beta = \cos 1^0\,24'\,21'' = 0.999700$ |
| Y' | $\alpha_1 = \cos 1^0\,50'\,54'' = 0.999480$ | $\beta_1 = -\cos 88^0\,48'\,7'' = -0.020908$ | $\gamma_1 = -\cos 88^0\,35'\,38'' = -0.024541$ |

Nun ist

$$\begin{vmatrix} \alpha^2 + \beta^2 + \gamma_1^2 = 1 \\ \alpha_1^2 + \beta_1^2 + \gamma_1^2 = 1 \\ \alpha\alpha_1 + \beta\beta_1 + \gamma\gamma_1 = 0 \end{vmatrix}$$

Trägt man die vorher ermittelten Werthe ein, so ergiebt sich

$$\begin{vmatrix} 0.0006029 + 0.0000001 + 0.9933979 = 1.0000009 \\ 0.9989599 + 0.0004371 + 0.0006023 = 0.9999993 \\ 0.0245417 - 0.0000069 - 0.0245388 = 0.0000010 \end{vmatrix}$$

In der von Hrn. Glazebrook a. a. O. S. 300 gegebenen Tabelle entsprechen dem Minimum der Ablenkung nahezu die Werthe:

$$\mu_1 = 1.68130 \quad , \quad \mu_2 = 1.68589$$

aus denen sich:

$$b_0 = \frac{1}{\mu_1} = 0.594779 \quad , \quad c_0 = \frac{1}{\mu_2} = 0.593150$$

ergiebt. Zur Bestimmung von $a_0$ empfiehlt sich ein von dem zum Minimum der Ablenkung gehörigen Einfallswinkel möglichst weit abliegender Einfallswinkel. In dem vorliegenden Falle ist dies $i = 78^0\,13'$; daraus folgt nach (8)

$$p = 0.597827$$

Unter der Voraussetzung, dass die Prismenkante parallel zur Axe $\breve{a}$ ist, würde sich aus (9)

$$a_0 = 0.664614$$

ergeben. Um jedoch einen Werth zu erhalten, der dem wahren möglichst nahekommt, setzt man $a_0$ in (4*) ein, indem man, da die beiden Näherungswerthe $b_0$, $c_0$ schon nahezu die Hauptlichtgeschwindigkeiten geben, die Glieder mit y und z weglässt; auf diese Weise findet man

$$x = \frac{a(p^2 - b_0^2)(p^2 - c_0^2) + b(p^2 - c_0^2)(p^2 - a_0^2) + c(p^2 - a_0^2)(p^2 - b_0^2)}{b(p^2 - c_0^2) + c(p^2 - b_0^2)}$$

Digitized by Google

worin noch zur bequemeren Ausrechnung

$$\left|\begin{array}{l} a = \left[\frac{\alpha \cos(A_0 - \psi)}{\cos A_0}\right]^2 \\ b = \left[\frac{\beta \cos(B_0 - \psi)}{\cos B_0}\right]^2 \\ c = \left[\frac{\gamma \cos(C_0 - \psi)}{\cos C_0}\right]^2 \end{array}\right| \qquad \left|\begin{array}{l} \tan A_0 = \frac{\alpha_1}{\alpha} \\ \tan B_0 = \frac{\beta_1}{\beta} \\ \tan C_0 = \frac{\gamma_1}{\gamma} \end{array}\right|$$

gesetzt wurde; man erhält

$$x = -0.015416$$

Mithin wird

$$a_1^2 = a_0^2 - x = 0.426296$$

Hr. Glazebrook hat gefunden $a^2 = 0.427117$.

Die Differenz 0.000818 der beiden Werthe ist wohl dem Umstande zuzuschreiben, dass die in Gleichung (4*) eingeführte Vernachlässigung der Glieder, welche y und z enthalten, nicht mehr zulässig ist.

Königsberg i. Pr., Mineralogisches Institut der Universität. Juni 1886.



Digitized by Google

# Geologische Beobachtungen in einem regional-metamorphosirten Gebiet am Hardangerfjord in Norwegen.

Von

**Hans Reusch** in Christiania.

Mit 13 Holzschnitten.

---

Die Gegend, in welcher die im Folgenden mitgetheilten Beobachtungen angestellt wurden, sind die Inseln vor der Mündung des Hardangerfjords, an der Westküste Norwegens südlich von Bergen. Die nachfolgende Kartenskizze giebt im Maassstabe von 1 : 1500000 nach den Ergebnissen der norwegischen Landesuntersuchung eine Übersicht über die ganze Strecke zwischen den Städten Bergen und Stavanger.

Mit Punkten sind die beiden später zu erwähnenden Granitmassen bezeichnet. Schwarz giebt die Ausbreitung dioritischer Gesteine an (metamorphosirter Gabbro, früher gern Saussüritgabbro genannt). Gestrichelte Linien bedeuten geschichtete Gesteine, unter denen grüne Schiefer, die wahrscheinlich als veränderte Diabastuffe zu deuten sind, vorherrschen. Die mit feinen Parallellinien bezeichneten Partieen sind Thonglimmerschiefer und verschiedene andere damit verbundene feinkörnige krystallinische Schiefer. Das weiss gelassene ist Gneiss und Granit.

### Die Geologie der Gegend im Allgemeinen.

An der Mündung des Hardangerfjords liegen drei grosse Inseln: Bömmelö, Storen und Tysnesö. Nordwestlich von diesen erstreckt sich die Inselgruppe „Mögsteröerne“. Den

Digitized by Google

Südostseiten der drei erstgenannten Inseln entlang zieht sich von SW. nach NO. der Bömmelfjord und in dessen Fortsetzung der Husnesfjord, der in den Hardangerfjord übergeht. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass diese Fjorde einer grossen

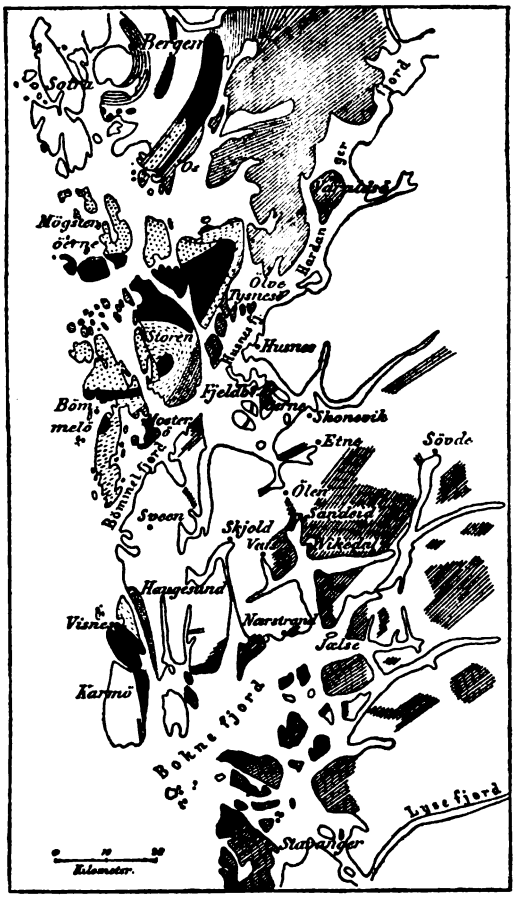



Fig. 1.

Verwerfungslinie folgen. Jedenfalls beobachtet man bedeutende Verschiedenheiten, wenn man die grossen Züge des geologischen Baues auf beiden Seiten von dieser Linie betrachtet. In den südöstlich angrenzenden Gegenden sind Gneiss, ein granitisches Gestein und Thonglimmerschiefer die herrschen-

Digitized by Google

den Gesteine. Der Thonglimmerschiefer kommt als Zwischenlagerung zwischen den andern Gesteinen vor und kann von diesen nicht, als einer besonderen Bildungszeit zugehörig, unterschieden werden.

Auf der Nordwestseite der erwähnten Linie begegnet man zuerst der auf unserem Kärtchen mit feinen Linien bezeichneten Schichtreihe. Man hat hier Thonglimmerschiefer, gneissartige Schiefer und verschiedene feinkrystallinische grüne Schiefer. Die Schichten streichen im Ganzen von SW. nach NO. und stehen mehr oder weniger senkrecht.

Bömmelö, die restirenden Theile von Storen und Tysnesö, sowie die Mögsterinseln fasse ich als ein einheitliches Gebiet auf, aus Eruptivgesteinen und deren Tuffen bestehend. In den Tuffen kommen hie und da Kalksteine und in Wasser bearbeitete Bruchstückgesteine vor. An zwei Stellen (südlicher Theil von Bömmelö und südwestlich auf Storen) sind Fossilien, *Halysites*, *Climacograptus* etc., dem mittleren oder oberen Silur zugehörig, gefunden worden. Dadurch ist ein Moment zur Feststellung der Bildungszeit der grossen Eruptivmassen gegeben.

Die Eruptivgesteine sind zum Theil basische, zum Theil saure. Die basischen habe ich unter der Bezeichnung dioritisches Gestein (Schwarz auf dem Kärtchen) zusammengefasst. Dieses Gestein ist mittel- bis feinkörnig und besteht aus grüner Hornblende und einem hellen Bestandtheil, der ein, sehr häufig in Epidot veränderter, Feldspath ist. Die Hornblende ist wahrscheinlich in den meisten Fällen durch Umwandlung eines früher existirenden augitischen Bestandtheils hervorgegangen. Reste von diesem Augit, die den Habitus von Diallag haben, wurden zuweilen angetroffen. Das dioritische Gestein könnte man folglich, wenn man einen mehr theoretischen Namen anwenden wollte, mindestens zum grossen Theil als metamorphosirten Gabbro bezeichnen. Nicht selten zeigt das dioritische Gestein einen schichtenweisen Wechsel von verschiedenen Varietäten. In diesem Falle bin ich geneigt, anzunehmen, dass das ursprüngliche Gestein nach Art der Tuffe gebildet wurde.

Dies geschichtete dioritische Gestein bildet einen Übergang zu den grünlichen, feinkörnigen oder dichten, geschichteten, mehr oder weniger schieferigen Gesteinsarten, welche

Digitized by Google

die Hauptmasse von dem ausmachen, was ich für basische Tuffe halte (gestrichelte Linien auf der Karte). Diese Gesteine führen als wesentliche Bestandtheile Hornblende, Chlorit und Epidot, daneben gern reichlich Carbonspath. Sie entsprechen einigermaassen den Schalsteinen der deutschen Petrographen. Eingelagert kommen Massen vor, die man am ehesten für geflossene Ströme (z. Th. deutliche Porphyrite) halten muss. Einige sind wohl auch intrusive Gänge. Übrigens ist es hier wie anderswo unter ähnlichen Verhältnissen oft schwierig zu unterscheiden, was massig erstarrt und was klastische Bildung ist.

Unter den sauren Eruptivgesteinen ist vor Allem Granit zu erwähnen. Dieser bildet zwei grosse Massive: 1) auf Mögsteröerne und 2) östlich davon auf dem nördlichen Theil von Bömmelö und dem westlichen Theil von Storen.

Saure Tuffe sind, des kleinen Maassstabes wegen, nicht speciell auf der Karte angegeben. Quarzporphyrtuffe kommen aber auf dem mittleren Theil von Bömmelö vor. Damit zusammen finden sich hier auch granitische Gesteine und Quarzporphyr. Auch diesen Gesteinen gegenüber kann man oft zweifelhaft sein, ob man Tuffe oder massige Erstarrungsgesteine vor sich hat. In einigen Fällen ist die klastische Structur nicht zu verkennen. Veränderter Diabas (Hornblende hat den Augit ersetzt, Carbonspäthe sind reichlich vorhanden) kommt in Gängen vor. Besonders auf dem mittleren Theil von Bömmelö habe ich eine Menge solcher beobachtet. Hier sind auch typische Gänge von Quarzporphyr gefunden worden.

Im Grossen betrachtet, hat man also auf den Inseln am Hardangerfjord erstens die grossen Massen, die ich als Centraltheile der alten obersilurischen Vulkane zu deuten geneigt bin: den Granit und das dioritische Gestein, von welchen das letztere wahrscheinlich ein veränderter Gabbro ist. Diese gegen Südosten, theilweise auch gegen Norden (auf Tysnesö) umgebend, liegen einige Überbleibsel von den äusseren Theilen der alten Vulkane, Anhäufungen von Tuffen und Ströme, welche von Gängen durchsetzt sind. Das Meer deckt wahrscheinlich die westlichen Theile des alten Eruptivgebietes. Nur der östliche Theil ist unserer Beobachtung zugänglich.

Digitized by Google

**Die Einwirkung der Druckkräfte auf die Gesteine.**

Sowohl die eruptiven wie die sedimentären Gesteine haben am Faltungsprocesse der Erdkruste theilgenommen. Die Umbildungen der die Gesteine zusammensetzenden Minerale sollen hier nicht behandelt werden. Sie scheinen zum wesentlichen Theil während des Faltungsprocesses stattgefunden zu haben. Die Veränderungen werden also als regionalmetamorphische zu bezeichnen sein. Wir haben schon oben die Verwandlung des Gabbros in ein hornblendereiches Gestein erwähnt.

An dieser Stelle sollen uns nur einige Structur- und Formenveränderungen beschäftigen. Die durch Druck hervorgebrachte Ausbildung von secundärer oder falscher Schieferung bei feinkörnigen sedimentären Gesteinen ist ein so oft behandeltes Thema, dass wir hier nicht weiter darauf eingehen wollen. Seltener wahrgenommen, in unserer Gegend aber sehr schön zu beobachten ist secundäre Schieferung bei Eruptivgesteinen. Die feinkörnigen Gänge von verändertem Diabas sind oft dünnschiefrig, beinahe wie Dachschiefer geworden. Dies ist z. B. der Fall bei einigen Gängen am Gehöfte Uren auf Bömmelö. Es ist interessant, dass die Stellung der Schieferung von der Flächenausbreitung der Gänge unabhängig ist und schräg zu diesen steht, ferner dass die Gänge am Salbande, ungeachtet aller Veränderungen, auch gegenwärtig augenscheinlich dichter als in der übrigen Masse sind. Auch schön schiefriger Porphyrit mit ziemlich grossen flachgedrückten Feldspatheinsprenglingen und schiefriger Quarzporphyr wurden wahrgenommen. Granitgänge, die in der Nähe der grossen Granitmassive das dioritische Gestein durchschwärmen, haben oft durch Druck Parallelstructur angenommen. In dieser Weise wurde ein Gestein ausgebildet, welches im Handstück ganz dem Gneiss-Granit Kjerulf's oder dem Gneiss anderer Verfasser entspricht. Von einer der Mögsterinseln ist hier ein 2 m. breiter Granitgang (der Gang rechts in Figur 2) wiedergegeben, in welchem diese Structur wohl ausgebildet und in schiefer Stellung (wie in der Figur angedeutet) gegen die Grenzflächen des Ganges sich befand. Dieser Gang ist also ein Beweis dafür, dass ein gneissartiges Gestein durch Druck ausgebildet werden kann.

Digitized by Google

Unter den Formveränderungen sind die Pressung und Streckung der Conglomerate am meisten auffallend.

Fig. 2. Granitgänge im dioritischen Gesteine. Der 2 m. breite verhältnissmässig glimmerreiche Gang rechts zeigt secundäre Parallelstructur.

Die folgende Figur 3 zeigt eine Schicht von einem feinkörnigen klastischen Gestein zwischen zwei verschiedenen Con-

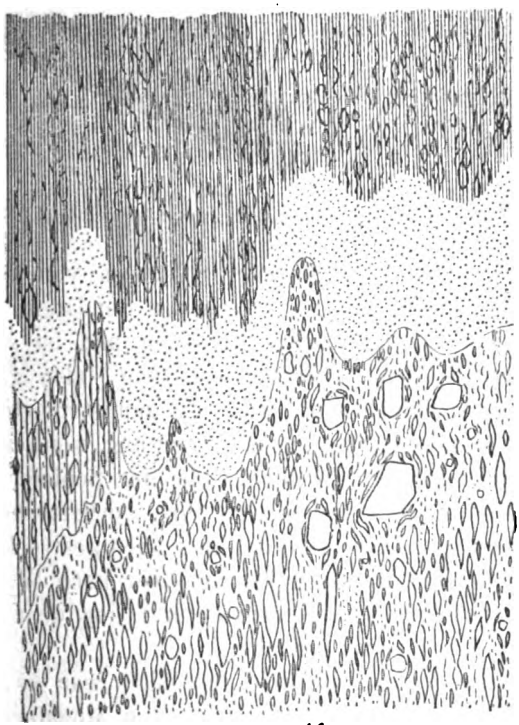


Fig. 3. Gepresste Conglomeratschichten.

glomeratschichten (Inselchen an der Westseite von Bömmelö). Die Fragmente der Conglomerate sind in einer Ebene platt-

Digitized by Google

gedrückt worden, die nahezu senkrecht gegen die Schichtung steht. Die zwischenliegende Schicht ist eng gefältelt worden.

Die folgende Figur 4 giebt eine schematisirte Darstellung von einem Felsen auf einer kleinen Insel bei Karnö.

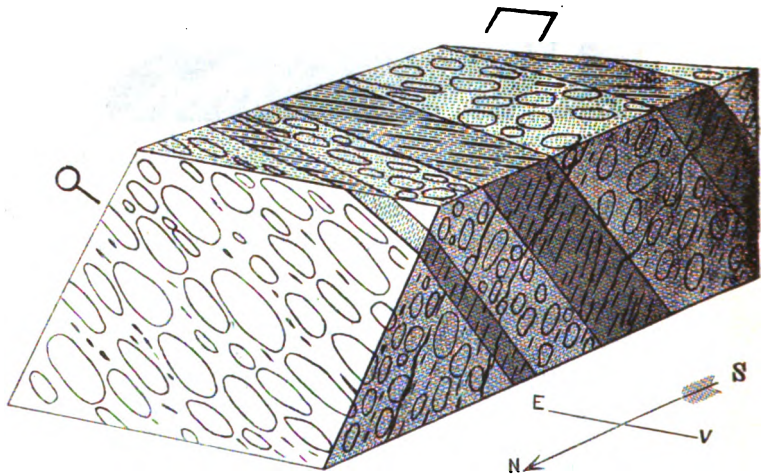



Fig. 4. Gepresstes und gestrecktes Conglomerat. Schematische Zeichnung.

Hier kommen abwechselnde Schichten von Quarzitconglomerat und einem etwas veränderten Sandstein vor. Der Sandstein hat krystallinisches Aussehen und ist schiefrig in einer gegen Norden geneigten Richtung, also ganz unabhängig von der Schichtung. Auch die sandsteinartige Grundmasse des Conglomerates zeigt Andeutung von einer damit parallelen Schieferung. In der Fläche der Schieferung haben die Fragmente des Conglomerats ihre vorherrschende Ausdehnung erhalten. Dazu sind sie aber auch gestreckt worden; sie haben alle ihre grössten Durchmesser nach W. gerichtet. Dies wird deutlich wahrgenommen auf der dem Beschauer zugewendeten Schieferungsfläche.

Von besonderem Interesse für mich war es, dass ich in einem Falle (Insel Selbjörn unter den Mögsterinseln) die Streckungsrichtung bei einem Conglomerate mit der Streckungsrichtung eines naheliegenden gestreckten Gneisses zusammenfallend gefunden habe. Dadurch ist ein Argument dafür gegeben, dass die bandförmige Anordnung des Glimmers, die

Digitized by Google

ein wesentliches Merkmal des gestreckten Gneisses ist, durch eine wirkliche Streckung des Gesteins hervorgebracht wurde.

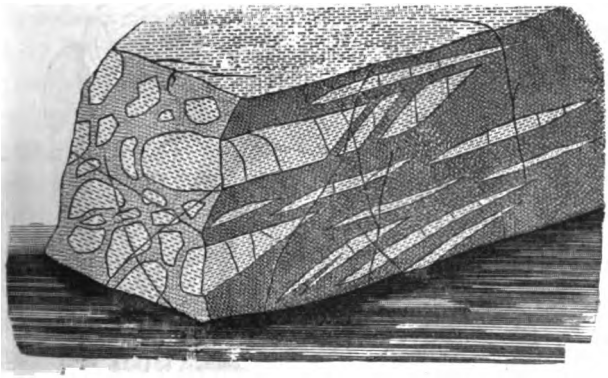


Fig. 5. Gestreckter Granit mit Gneissbruchstücken. Der Felsen hat eine Fläche der Streckung entlang und eine dazu querstehend.

Der in Fig. 5 abgebildete 3 m. hohe Felsen zeigt ein Beispiel von der Streckung eines Granites. Der Granit ist mit Fragmenten von grauem Gneiss erfüllt. Diese sind alle in einer bestimmten Richtung ausgezogen. Dieselbe Streckungsrichtung ist hier in einer ziemlich ausgebreiteten Region herrschend. Dies zeigt, dass es sich hier nicht um ein locales Phänomen handelt, dass z. B. die Fragmente nicht dadurch länglich geworden sind, dass sie beim Hervorbrechen des Granits in halbgeschmolzenem Zustand ausgezogen wurden.

Fältelung mit den Axenlinien in der Richtung der Streckung ist ein sehr gewöhnliches Streckungsphänomen. Diese Fältelung wird nicht nur an Schichten wahrgenommen, sondern auch Gänge zeigen sehr gewöhnlich Faltungen. In Fig. 6 ist ein etwa 2 m. hoher Felsen (Lille Kalsö, Mögsteröerne) abgebildet, der aus verticalstehenden, klein gefältelten, sehr deutlichen Schichten von mehr oder weniger kalkreichem feinkrystallinischem Schiefer besteht. Ein Granitgang durchquert die Schichten. Der Gang ist schön gefaltet und seine Axenlinien stehen wie die Fältchen der umgebenden Schiefer.

Digitized by Google

**Fig. 6. Gefalteter Granitgang.**

Ähnliche Verhältnisse bei einem von grobkörnigen rothen Granitadern durchwobenen Gneisse zeigt die folgende Fig. 7 (in der Gemeinde Sveen).

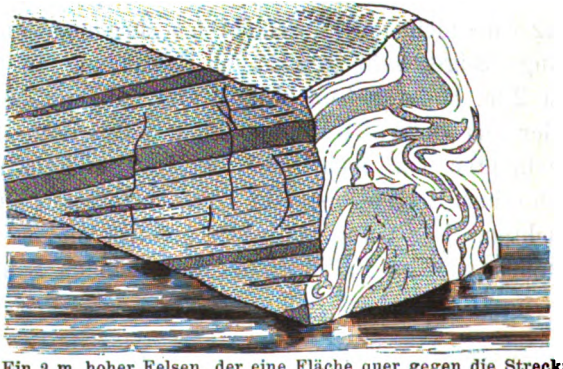


**Fig. 7.** Ein 2 m. hoher Felsen, der eine Fläche quer gegen die Streckungsrichtung hat, und eine andere derselben parallel. Gneiss von unregelmässigen Adern aus grobkörnigem, rothem Granit durchwoben.

Digitized by Google

Viele andere Beispiele könnten erbracht werden; das Angeführte aber illustrirt wohl genügend die wichtigsten Verhältnisse.

Ich habe gelegentlich des internationalen Geologen-Congresses zu Berlin 1885 ein bestimmtes Zeichen für die durch Druck hervorgebrachte secundäre Schieferung oder Parallelstructur vorgeschlagen: einen kleinen Strich, von dessen Enden 2 Querstriche in der Richtung, in welcher die Structurebene geneigt ist, ausgehen. Ist die Neigung gegen den Horizont klein, so werden diese Querstriche lang, ist sie gross, so werden sie klein gemacht; steht sie senkrecht, so werden 2 kurze Querstriche gesetzt (Fig. 8).

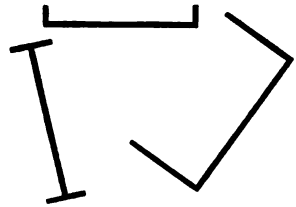


Fig. 8.

Als Zeichen für Stellungen der Streckungsrichtungen zeichne ich einen kleinen runden Ring mit einem davon in der Neigungsrichtung ausgehenden Strich; auch dieser Strich wird lang bei kleinem und kurz bei starkem Neigungswinkel gemacht. Horizontale Streckung wird durch einen Strich, der 2 runde Ringe verbindet, bezeichnet (Fig. 9).

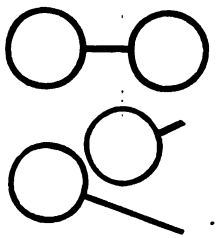


Fig. 9.

### Goldführende Quarzgänge auf Bömmelö.

Ein loses Stück natürlichen Goldes wurde vor etwa 20 Jahren auf der Westseite des mittleren Theils von Bömmelö gefunden. Als man aber kein Gold in dem dicht dabei anstehenden Quarzgang entdecken konnte, wurden die Funde wenig beachtet. Im Jahre 1881 wurde aber das Gold in einem naheliegenden kupferkieshaltigen Quarzgange entdeckt, der versuchsweise als kupferführend abgebaut wurde. Diese Entdeckung hat die Gründung einer englischen Goldbergwerkgesellschaft veranlasst. Auch ein norwegisches Goldextractionswerk wird bald in Betrieb sein.

Digitized by Google

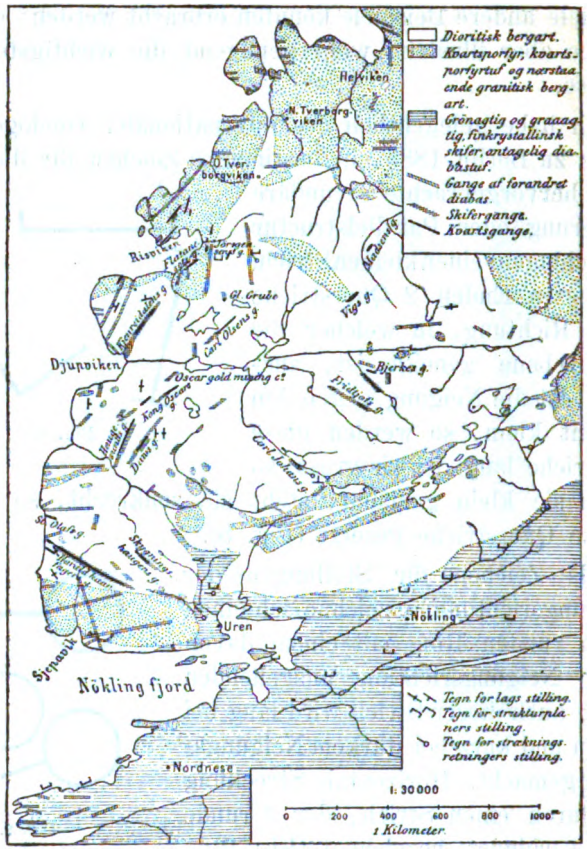



**Fig. 10. Die wichtigste goldführende Gegend auf Bömmelö. 1 : 15000.**

Das Terrain erhebt sich in der dargestellten Gegend nirgends in bedeutender Höhe. Es ist nackt und grau, man sieht nur wenig bebautes Feld um die sparsamen Höfe, die in den Einsenkungen zwischen den Felsen liegen.

Südlich hat man grünlichen und gräulichen feinkrystallinischen Schiefer, der für veränderten Diabastuff gehalten werden muss. Die Schieferung fällt gegen Norden oder Nordnordwesten ein. Im Anfang wird man wohl geneigt sein, anzunehmen, dass Lagerung und Schieferung zusammenfallen; eine genaue Untersuchung zeigt aber, dass dies, wenigstens theilweise, nicht der Fall ist. Der Eintönigkeit der Schiefer wegen ist es aber schwierig, die richtige Schichtstellung zu

Digitized by Google

bestimmen. Wenn man die Localitäten, wo verhältnissmässig leicht unterscheidbare Schiefervarietäten zusammen auftreten, in Betracht zieht (z. B. die Nordseite des Nöklingfjords, wo ein schwärzlicher Schiefer gefunden wird), so kommt man zu dem Resultat, dass die Schichten wahrscheinlich in ziemlich unregelmässigen Falten zusammengeschoben sind.

Nördlich von dem Schieferterrain ist das früher erwähnte dioritische Gestein ausgebreitet (weiss auf der Karte Fig. 10). Dies ist zum grössten Theil massig, zeigt aber an einigen Stellen eine durch Abwechslung zwischen hellen und dunklen Varietäten hervorgerufene Schichtung.

Schon aus einiger Entfernung von diesem dunklen Gestein unterscheidbar ist ein graues, auf der Oberfläche ganz helles Gestein. Letzteres ist zum Theil deutlich körnig, granitisch und enthält Quarz und weissen Feldspath als vorwaltende Bestandtheile; zum Theil ist es aber ein Quarzporphyr, zum Theil endlich zeigt es eine, besonders an verwitterter Oberfläche hervortretende, klastische Structur, die es als Quarzporphyrtuff charakterisirt (punktirt auf der Karte).

Die erwähnten Gesteine werden von Gängen von verändertem Diabas durchsetzt. Letzteres Gestein ist feinkörnig, Hornblende-, Chlorit- und Kalkspath-haltig. Es ist oft schiefrig. Die Schieferung in den Gängen ist in nördlicher oder nordwestlicher Richtung geneigt, folglich mit der Stellung der Schieferung im grossen Schieferterrain übereinstimmend.

Jünger als diese Gänge sind die goldführenden Quarzgänge. Diese bilden zum Theil ziemlich regelmässige Platten, die gern an der Grenze zwischen den veränderten Diabasgängen und dem umgebenden Gestein stehen. Zum Theil bilden sie ziemlich unregelmässige, linsenförmige Massen, von welchen Verzweigungen ausgehen.

Quarzgänge von letzterwähnter Art treten besonders in den sogenannten Schiefergängen auf. Diese sind gangförmige Massen von einem weichen Schiefer, deren Hauptbestandtheile Chlorit und Carbonspath zu sein scheinen. Diese Schiefergänge sind ohne Zweifel zum grössten Theil sehr veränderte Diabasgänge. Dies ist, vermuthe ich, z. B. der Fall mit dem wohlbegrenzten, in Fig. 12 abgebildeten Schiefergang, in welchem der südlichste von den grösseren Quarzgängen, der Harald-

Digitized by Google

Haarfagre-Gang vorkommt. In einigen Fällen aber ist ein Gestein, ganz dem Chloritschiefer der Schiefergänge ähnlich, deutlich aus dem dioritischen Gestein hervorgegangen. Das dioritische Gestein ist einer Verwerfungsspalte entlang zerquetscht; man sieht, wenn man sich der Spalte nähert, dann deutlich, wie der massige Diorit in den chloritischen Schiefer übergeht. Diese Verhältnisse habe ich z. B. gleich nördlich vom Nöklingfjord an der Grenze zwischen dem dortigen dioritischen Gestein und dem nördlich davon anstehenden Quarzporphyrtuff studirt. Solche Beobachtungen haben mich vorsichtig gemacht, so dass ich nicht alle Schiefergänge mit einander als veränderten Diabas benennen darf. In den weichen carbonspathführenden Chloritschiefern habe ich noch nicht derartige petrographische Merkmale aufzufinden vermocht, die entscheiden können, ob das ursprüngliche Gestein Diabas oder Gabbro war. Aus dem letzteren ist, wie früher gesagt, wahrscheinlich das dioritische Gestein hervorgegangen.

Um genauer die Verhältnisse in der goldführenden Gegend zu illustriren, theile ich hier einige Abbildungen mit. Figur 11

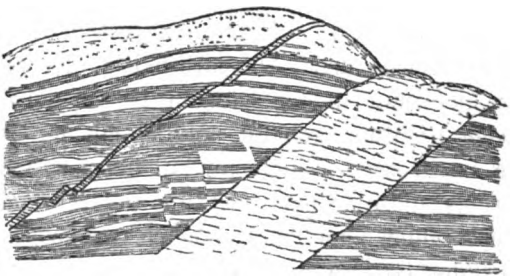


Fig. 11. Geschichtetes dioritisches Gestein, das von Diabasgängen mit Andeutung der Schieferung durchsetzt wird.

zeigt einen Felsen von dioritischem Gestein, in welchem eine verschwommene Schichtung zu sehen ist. Die Schichtung ist an einigen Stellen von kleinen Verwerfungsspalten abgebrochen. Zwei Gänge von verändertem Diabas durchqueren den Felsen. Der Gang rechts ist nahezu 1 m. breit. Der andere ganz schmale Gang ist entweder in einer ziemlich unregelmässigen Spalte gebildet oder er ist nach der Erstarrung an einigen Stellen verschoben worden. Die beiden Gänge zeigen Andeutungen von Schieferung, wie in der Figur angegeben.

Digitized by Google

Ein kleines Stück von Bömmelö aus der Vogelperspective gesehen ist in der folgenden Fig. 12 dargestellt. Zu unterst hat man die See. Rechts (mit kleinen Punkten bezeichnet) sieht man ein hellgraues Gestein: veränderter Quarzporphyrtuff oder Quarzporphyr. Das im Übrigen herrschende Gestein ist ein dioritisches. An der Grenze gegen das ersterwähnte ist es durch Pressung in Schiefer verwandelt. Die feinen, ziemlich horizontalen Linien deuten die fast verticalstehende Schichtung des dioritischen Gesteins an. Die Schichtung des dioritischen Gesteines durchschneidend zieht sich ein Gang von verändertem Diabas, dessen ziemlich steil geneigte Schieferung sich, wie in der Fig. 12 angegeben, auf der Oberfläche des Gebirges

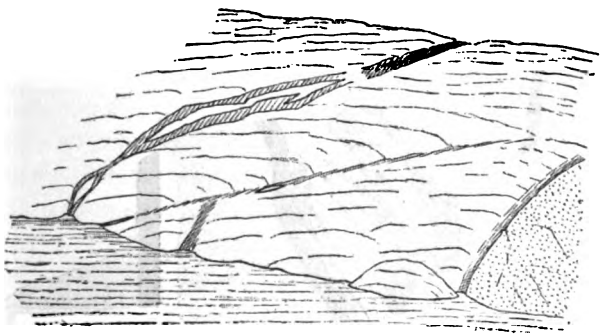


Fig. 12. Schematisirte Darstellung des Harald-Haarfagre-Ganges an der Küste von Bömmelö.

hervorhebt. Der Mitte des Ganges entlang tritt eine Reihe von linsenförmigen Partieen von weissem Quarz auf. Diese Reihe ist es, die von den Bergleuten der Harald-Haarfagre-Quarzgang genannt wird. Dieser Gang ist einer der mächtigsten auf Bömmelö. Die grösste von den linsenförmigen Quarzpartieen ist ca. 120 m. lang und 1—2 m. breit.

Vor diesem und einen Winkel damit bildend, bemerkt man einen ganz schmalen Schiefergang, der auch etwas Quarz enthält. Ich kann nicht entscheiden, ob dieser und eine verhältnissmässig breite von ihm nach der See ausgehende Verzweigung veränderter gangförmiger Diabas ist oder dioritisches Gestein, das auf Spalten entlang gepresst wurde.

Umstehende Fig. 13, die ein kleiner Profilschnitt ist, zeigt die beiden Typen der Quarzvorkommnisse. Das Haupt-



Digitized by Google

gestein ist granitisch (fein punktirt) und eng mit dem Quarzporphyr verwandt. Rechts und links bemerkt man die Durchschnitte (schwarz) von zwei Gängen von verändertem Diabas. Dicht bei diesen stehen zwei plattenförmige, etwa ½ m. breite Quarzgänge (weiss). Sie senden Apophysen in das granitische Gestein. In der Mitte des Bildes sieht man einen chloritischen Schiefer, der zwei unregelmässig verzweigte, im Grossen aber linsenförmige Quarzpartieen einschliesst.

Die Quarzpartieen auf Bömmelö erreichen nur in Ausnahmefällen eine Mächtigkeit von mehr als 2 m. Der Quarz ist oft gemischt mit ein wenig Dolomit oder Kalkspath und Chlorit. Nicht selten sind Schwefel- und Kupferkies. Sparsam

Fig. 18. Quarzgänge. Risviken.

treten Bleiglanz, Zinkblende und Tellurwismuth auf. Einmal hat man etwas gediegenes Silber gefunden. Das Gold kommt zum Theil in sichtbaren kleinen Klumpen vor. Der grösste soll im Kong Oscars-Gang gefunden worden sein und die Grösse und Form eines kleinen Finger gehabt haben. Ich habe dieses Stück nicht gesehen. Theilweise ist aber das Gold im Quarz so fein vertheilt, dass man es kaum oder auch gar nicht mit blossen Augen entdecken kann. Das Gold tritt in unseren Gängen, wie gewöhnlich bei ähnlichen Vorkommnissen, regellos vertheilt auf. Der Gang, von welchem die besten Angaben bekannt sind, ist der Carl Olsens-Gang. Er ist in der Streichrichtung nahezu 100 m. verfolgt worden. In der Fallrichtung ist man ca. 32 m. nach unten vorgedrungen. Nach oben war der Quarzgang etwa 1 m. breit und führte kein Gold. Erst in einer Tiefe von 17 m. wurde das

Digitized by Google

edle Metall in nennenswerther Menge nachgewiesen. Von hier aus nach unten ist der Gang im Durchschnitt 8 cm. breit und enthält nach einer von Hrn. Sigwart Dahl vorgenommenen Untersuchung durchschnittlich 26 g. Gold und 8 g. Silber in 1 Ton Quarz. Eine Probe vom Boden der Grube genommen zeigte nur 2½ g. Gold in 1 Ton Quarz.

Was den praktischen Werth des Goldfundes auf Bömmelö betrifft, so ist es die Meinung des Verf., dass die dortigen Vorkommnisse, mindestens die bisher bekannten, keine bedeutenden Reichthümer darbieten werden; von eigentlicher nationalökonomischer Bedeutung sind sie nicht. Auf der andern Seite ist man berechtigt zu hoffen, dass ein vorsichtiger Abbau von einigen der besseren Gänge sich lohnen wird.



Digitized by Google

# Bestimmung der Elasticitäts-Constanten von Beryll und Bergkrystall.

Von

**W. Voigt.**

Mit Tafel III.

Die Methode der Beobachtung ist im Wesentlichen bereits in einer früheren Abhandlung[1] dieses Jahrbuchs mitgetheilt worden; ich bediene mich im Folgenden der dort eingeführten Bezeichnuug. Über die veränderte Einrichtung des Apparates, an welchem die Biegungen der benutzten Krystallstäbchen gemessen wurden, ist in der unten genannten ausführlichen Abhandlung[2] das Nöthige mitgetheilt; hier werde ich mich auf die Mittheilung der wesentlichen Resultate beschränken.

Bezeichnet man mit $X_x$ die $X$-Componente der durch die Deformation eines elastischen Körpers an einem bestimmten Punkte erregten elastischen Druckkraft gegen die Flächeneinheit, welche normal zur $X$-Axe liegt, analog mit $X_y$ und $X_z$ die gegen die zur $Y$- und $Z$-Axe normale Flächeneinheit, und verwendet im gleichen Sinne $Y_x$, $Y_y$, $Y_z$, $Z_x$, $Z_y$, $Z_z$, so hängen diese sogenannten Druck-Componenten zusammen mit den Grössen $x_x$, $y_y$, $z_z$, d. h. den Dilatationen parallel den Coordinatenaxen, und mit den Grössen $y_z = z_y$, $z_x = x_z$, $x_y = y_x$, d. h. den Änderungen der Winkel zwischen den, vor der Deformation der $X$-, $Y$-, $Z$-Axe parallelen Richtungen, durch lineäre Gleichungen von der Form:

[1] W. Voigt, Dies. Jahrb. 1884. Beilage-Band IV. p. 228.

[2] W. Voigt, Gött. Nachr. 1886. No. 3.

Digitized by Google

$$X_x = c_{11}x_x + c_{12}y_y + c_{13}z_z + c_{14}y_z + c_{15}z_x + c_{16}x_y.$$
$$Y_y = c_{21}x_x + c_{22}y_y + c_{23}z_z + c_{24}y_z + c_{25}z_x + c_{26}x_y \text{ etc.}$$

Die in diesen Formeln auftretenden Coëfficienten, deren Zahlenwerthe von der Lage des Coordinatensystems gegen die Krystallaxen abhängen, heissen die dem speciellen Coordinatensystem entsprechenden Elasticitätsconstanten des Krystalls. Sie für ein bestimmtes Coordinatensystem zu bestimmen, ist Ziel der Beobachtung; sind sie für eine Substanz bekannt, so ist damit zugleich deren elastisches Verhalten gegenüber jeder Art von Krafteinwirkung bekannt.

## I. Theil. Beobachtungen am Beryll.

### 1. Formeln für das hexagonale System.

Die oben angegebenen Gleichungen, welche die Elasticitätsconstanten definiren, nehmen für das hexagonale System, falls man die $Z$-Axe in die krystallographische Hauptaxe, die $X$-Axe in eine Nebenaxe fallen lässt, die folgende einfachere Gestalt an, welche sich aus der allgemeinen, durch Einführung der dem System entsprechenden Symmetrieverhältnisse ergiebt und nur noch fünf Elasticitätsconstanten

$$c_{11},\ c_{33},\ c_{44},\ c_{12},\ c_{13}$$

enthält.

(1)
$$\begin{aligned} -X_x &= c_{11}x_x + c_{12}y_y + c_{13}z_z & -Y_z &= c_{44}y_z \\ -Y_y &= c_{12}x_x + c_{11}y_y + c_{13}z_z & -Z_x &= c_{44}z_x \\ -Z_z &= c_{13}x_x + c_{13}y_y + c_{33}z_z & -X_y &= \frac{c_{11}-c_{12}}{2}x_y \end{aligned}$$

Bezeichnet man mit

(2)
$$S = \begin{vmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{11} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{13} & c_{13} & c_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{c_{11}-c_{12}}{2} \end{vmatrix}$$

die Determinante des Systems Coëfficienten $c_{hk}$ und mit $S_{hk}$ den Coëfficienten des $h$ten Elementes der $k$ten Reihe dieser Determinante (oder umgekehrt) so gelten die Relationen:

(3) $$S_{11} = S_{22},\ S_{13} = S_{23},\ S_{44} = S_{55},\ S_{66} = 2\ (S_{11} - S_{12});$$

sämmtliche $S_{hk}$ für die $h \lesseqgtr k$ und $h + k \geqq 5$ verschwinden mit Ausnahme von $S_{23}$.

Digitized by Google

In diesen Grössen giebt sich der Coëfficient der lineären Dilatation E in einer durch die Richtungscosinus $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ gegen dies Coordinatensystem gegebenen Richtung durch die Formel:

(4) $$SE = S_{11}(1-\gamma^2)^2 + S_{33}\gamma^4 + (S_{44} + 2S_{13})\gamma^2(1-\gamma^2);$$

derselbe ist also rings um die krystallographische Hauptaxe constant.

Von dem reciproken Werth $1/E = E$, den man gewöhnlich den Elasticitätscoëfficienten nennt, hängt dann die Biegung eines rechtwinklichen Prismas von der Länge $L$, Breite $B$, Dicke $D$ nach der Formel ab:

(5) $$\eta = \frac{PL^3}{4ED^3B} = E\frac{PL^3}{4D^3B}.$$

Ist das beobachtete Stäbchen nur nahezu prismatisch und die Dicke und Breite nach einer Function zweiten Grades mit der Länge variirend, nämlich im Abstand $h/n$ der Gesammtlänge gegeben durch:

$$D_h = D_0 \pm h\delta_1 + h^2\delta_2$$
$$B_h = B_0 \pm h\beta_1 + h^2\beta_2$$

so ist an Stelle von $D$ und $B$ ein mittlerer Werth zu setzen, der sich bestimmt aus:

(6) $$(D) = D_0 + \frac{n^2}{40}\left(\delta_2 - \frac{2\delta_1^2}{D_0}\right)$$
$$(B) = B_0 + \frac{n^2}{40}\left(\beta_2 - \frac{\beta_1^2}{B_0}\right).$$

Die Drillung eines rechteckigen Prismas hängt nicht durch einen einzigen Coëfficienten mit den Elasticitätsconstanten zusammen. Dieselben üben ihren grössten Einfluss auf jene indessen durch einen constanten Factor, den man als den Coëfficienten der Drillung T bezeichnen kann, der wieder durch die Relation $1/T = T$ mit dem gewöhnlichen Torsionscoëfficienten zusammenhängt.

Dieser Coëfficient der Drillung ist in den obigen Grössen bestimmt durch die Relation:

(7) $$ST = S_{44} + (2(S_{11} - S_{12}) - S_{44})\gamma_2^2 + 4(S_{11} + S_{33} - S_{44} - 2S_{13})\gamma^2\gamma_1^2$$

worin $\gamma$, $\gamma_1$, $\gamma_2$ resp. die Cosinus der Winkel bezeichnen, welche die Drillungsaxe, die grössere und die kleinere Querdimension mit der krystallographischen Hauptaxe bilden; T ist also wie E rings um die Hauptaxe constant.

Digitized by Google

Sind diese sämmtlichen drei Richtungen krystallographische Symmetrieaxen, d. h. Normale zu Symmetrieebenen, so bestimmt sich der Drillungswinkel $\tau$, der bei der Wirkung eines Drehungsmomentes $N$ auftritt, aus der Formel:

$$\tau = \frac{3LN}{TD^3B\left(1 - \frac{3}{16}\lambda\frac{D}{B}\sqrt{\frac{T}{T'}}\right)} \tag{8}$$

Hierin ist $T'$ der Werth, welcher aus $T$ wird durch Vertauschung von $\gamma_1$ und $\gamma_2$, $\lambda$ eine complicirte Function des Argumentes $\frac{D}{B}\sqrt{\frac{T}{T'}}$, welche indess für Werthe desselben, die $\frac{1}{3}$ nicht übersteigen, merklich constant $= 3{,}361$ ist.

Ist der gedrillte Körper nicht streng prismatisch, so kann man an Stelle von $D$ und $B$ in der vorstehenden Formel (8) einfach das arithmetische Mittel der Dicken und Breiten auf dem beobachteten Längenstück einführen.

Die im Folgenden beobachteten Stäbchen sind folgendermassen gegen die Krystallaxen orientirt.

Die mit ($0^0$) bezeichnete Gattung fällt mit der Längsrichtung in die krystallographische Hauptaxe. Die Lage der Querrichtungen ist hier ohne Einfluss. Es entspricht dieser Gattung der Werth:

$$SE_0 = S_{33} \qquad ST_0 = S_{44}. \tag{9}$$

Die mit ($45^0$) bezeichnete Gattung liegt mit der Längsrichtung um $45^0$ gegen die Hauptaxe geneigt, die kleinere Querdimension fällt in den Hauptschnitt. Demgemäss ist

$$SE_{45} = \frac{1}{4}(S_{11} + S_{33} + S_{44} + 2S_{13}). \tag{10}$$

Die mit ($90^0$) bezeichneten Stäbchen liegen mit der Längsrichtung normal zur Hauptaxe; je nachdem die Bezeichnung $A$ oder $B$ zugefügt ist, liegt die kleinere oder die grössere Querdimension parallel der Hauptaxe. Es gilt dann für $A$ und $B$:

(11)
für $A$: $SE_{90} = S_{11}$
für $B$: $ST_{90} = 2(S_{11} - S_{12})$
$ST'_{90} = S_{44}$.

Die Beobachtung der Drillung an der Gattung ($90^0$) $B$ giebt also keinen anderen Coëfficienten, als die der Gattung

Digitized by Google

$(0^0)$, indessen genügen auch die anderen fünf Bestimmungen zur Berechnung aller Constanten $c_{hk}$, deren Anzahl ja höchstens fünf ist und sich, wenn die Voraussetzung zutrifft, dass die Moleküle nach allen Richtungen hin in gleicher Weise auf einander einwirken, gar auf drei reducirt.

In dem letzteren Falle gelten nämlich nach Poissons' Rechnung die Relationen:

$$(12) \qquad c_{13} = c_{44} \qquad c_{12} = \frac{c_{11} - c_{12}}{2} \text{ d. h. } c_{11} = 3\,c_{12}.$$

Zur Berechnung der allgemeinsten fünf Elasticitätsconstanten $c_{11}$, $c_{12}$, $c_{13}$, $c_{33}$, $c_{44}$ aus den fünf Determinantenverhältnissen

$$\frac{S_{11}}{S} = s_{11}, \quad \frac{S_{12}}{S} = s_{12}, \quad \frac{S_{13}}{S} = s_{13}, \quad \frac{S_{33}}{S} = s_{33}, \quad \frac{S_{44}}{S} = s_{44}$$

hat man die folgenden fünf Gleichungen:

$$(13) \quad \left| \begin{array}{l} \text{a) } c_{11}s_{11} + c_{12}s_{12} + c_{13}s_{13} = 1 \\ \text{b) } c_{12}s_{11} + c_{11}s_{12} + c_{13}s_{13} = 0 \\ \text{c) } 2\,c_{13}s_{13} + c_{33}s_{33} = 1 \\ \text{d) } c_{13}(s_{11} + s_{12}) + c_{33}s_{13} = 0 \\ \text{e) } c_{44}s_{44} = 1. \end{array} \right.$$

Aus Gleichung *c*) und *d*) folgt:

$$c_{13} = \frac{-s_{13}}{s_{33}(s_{11}+s_{12}) - 2s_{13}^2}, \qquad c_{33} = \frac{s_{11}+s_{12}}{s_{33}(s_{11}+s_{12}) - 2s_{13}^2},$$

das erstere in a) und b) gesetzt gestattet zu bestimmen:

$$(14) \quad \left| \begin{array}{l} c_{11} = \dfrac{s_{11}s_{33} - s_{13}^2}{(s_{11}-s_{12})(s_{33}(s_{11}+s_{12}) - 2s_{13}^2)} \\ c_{12} = \dfrac{s_{13}^2 - s_{12}s_{33}}{(s_{11}-s_{12})(s_{33}(s_{11}-s_{12}) - 2s_{13}^2)}, \end{array} \right.$$

endlich giebt c) direct:

$$c_{44} = \frac{1}{s_{44}}.$$

Dabei ist nach Obigem:

$$(15) \quad \left| \begin{array}{lll} s_{11} = E_{90}, & s_{12} = E_{90} - \tfrac{1}{2}T_{90}, & s_{13} = 2\,E_{45} - \tfrac{1}{2}(E_{90} + E_0 + T_0) \\ & s_{33} = E_0, & s_{44} = T_0. \end{array} \right.$$

Diese Determinantenverhältnisse $s_{hk}$ bestimmen nicht nur Dehnung und Drillung, sondern auch andere elastische Deformationen in viel einfacherer Weise als die eigentlichen Elasticitätsconstanten.

Setzt man ein beliebiges Stück eines hexagonalen Krystalles einem allseitig gleichen Drucke $p$ aus, so nehmen die

Digitized by Google

...RSITY ...ORNIA.

Dilatationen parallel den Hauptaxen $x_x$, $y_y$, $z_z$ und die Änderungen der Winkel zwischen den Axen $y_z$, $z_x$, $x_y$ die folgenden Werthe an:

$$\begin{aligned} x_x &= -p(s_{11}+s_{12}+s_{13}) = y_y \\ z_z &= -p(2s_{13}+s_{33}) \\ y_z &= z_x = x_y = 0. \end{aligned} \tag{16}$$

Die Coëfficienten von $p$ in den Formeln für $x_x$, $y_y$ und $z_z$ wird man als Compressionscoëfficienten bei allseitigem Druck normal und parallel zur Hauptaxe besonders bezeichnen können; wir setzen:

$$A_{90} = s_{11}+s_{12}+s_{13} \qquad A_0 = 2s_{13}+s_{33}. \tag{17}$$

Der Coëfficient der cubischen Compression ist dann:

$$M = A_0 + 2A_{90} = s_{33}+2(s_{11}+s_{12})+4s_{13}. \tag{18}$$

Zwei Ebenen, deren Normalen die Richtungscosinus $\alpha_1$, $\beta_1$, $\gamma_1$ und $\alpha_2$, $\beta_2$, $\gamma_2$ gegen die Hauptaxen haben und mit einander den Winkel $\chi$ einschliessen, erleiden bei allseitig gleichem Drucke $p$ eine Änderung dieses Winkels $\delta\chi$, die gegeben ist durch:

$$\delta\chi \cdot \sin\chi = -p(s_{13}+s_{33}-s_{11}-s_{12})(2\gamma_1\gamma_2-(\gamma_1^2+\gamma_2^2)\cos\chi). \tag{19}$$

Sie hängt also nur von dem einen Coëfficienten:

$$B = s_{13}+s_{33}-s_{11}-s_{12} \text{ ab.}$$

War der Winkel $\chi$ ein rechter, so folgt einfacher:

$$\delta\chi = -p\,2B\gamma_1\gamma_2, \tag{20}$$

$\delta\chi$ ist dann also $= 0$ wenn eine der beiden Normalen senkrecht zur Hauptaxe liegt, ein Maximum findet statt wenn beide 45° mit der Hauptaxe einschliessen; dies Maximum ist $= -pB$.

Lässt man auf einen mit seiner Axe der Hauptaxe des Krystalls parallel gelegten Cylinder von beliebigem Querschnitt auf die Grundflächen den normalen Druck $p_0$, auf die Mantelfläche den normalen (constanten) Druck $p_1$ wirken, so erhält man

$$\begin{aligned} x_x &= -(p_1(s_{11}+s_{12})+p_0 s_{13}) = y_y \\ z_z &= -(p_1 2s_{13}+p_0 s_{33}) \\ y_z &= z_x = x_y = 0. \end{aligned} \tag{21}$$

Erwärmt man einen hexagonalen Krystall gleichförmig um $\vartheta$ Grade, so gilt:

Digitized by Google

$$
\begin{aligned}
x_x &= +\vartheta\,(q_1\,(s_{11}+s_{12})+q_0\,s_{13}) = y_y \\
z_z &= +\vartheta\,(q_1\,2\,s_{13}+q_0\,s_{33}) \\
y_y &= z_x = x_y = 0.
\end{aligned}
\tag{22}
$$

Hierin geben die $q_0$ und $q_1$ das Maass der Wärmeabstossung parallel und senkrecht der Hauptaxe. Kennt man die Grösse der thermischen lineären Dilatation parallel und senkrecht zur Hauptaxe $a_0$ und $a_1$ und sind die $s_{\lambda\varkappa}$ durch Elasticitätsbeobachtungen bestimmt, so folgen aus:

$$
\begin{aligned}
a_0 &= q_1\,2\,s_{13}+q_0\,s_{33} \\
a_1 &= q_1\,(s_{11}+s_{12})+q_0\,s_{13}
\end{aligned}
\tag{23}
$$

die Werthe $q_0$ und $q_1$ für die betreffende Substanz. Finden sich dieselben einander gleich, so würde die Wärmeabstossung nach allen Richtungen die gleiche und die durch eine gleichförmige Abkühlung hervorgebrachte Deformation der durch einen allseitig gleichen Druck erzeugten vollständig gleich sein.

### 2. Beobachtungen.

Das Beobachtungsmaterial lieferte ein prachtvolles säulenförmiges Fragment eines grossen Krystalles aus dem Ural, welches parallel der Hauptaxe circa 50 mm., parallel den Nebenaxen circa 20 mm. maass. Ich verdanke dasselbe meinem verehrten Kollegen Prof. C. Klein und benutze die Gelegenheit, um ihm für die grossartige Liberalität, mit welcher er dies dem Mineralogen höchst werthvolle Stück der physikalischen Untersuchung geopfert hat, den allerwärmsten Dank auszusprechen.

Der Beryll ist ein so besonders günstiges, ja unvergleichliches Object für Elasticitätsbeobachtungen, weil er nur in holoëdrischen Formen und fast nie verzwillingt beobachtet ist, also mit Sicherheit als Repräsentant des einfachen hexagonalen Systems hingestellt werden kann.

Das schöne Krystallfragment, welches ich benutzen durfte, war von wohl regelmässig sechsseitigem Querschnitt, auf den Flächen wie gewöhnlich parallel der Hauptaxe gestreift. Dieser Streifung entsprachen im Innern zahlreiche röhrenartige mehr oder weniger feine Längsspalten, welche bei der Zerlegung des Krystalls in Stäbchen sorgfältig vermieden werden mussten. Um dies leichter zu können, wurden soviel als möglich die Breitseiten der Stäbchen parallel der Hauptaxe gelegt; offen-

Digitized by Google

bar war dadurch die Möglichkeit vergrössert, störungsfreie Präparate zu erzielen. Wie aus dem Vorstehenden sich ergiebt, war indessen zur Bestimmung aller Constanten die Beobachtung der Drillung von Stäben, deren Längs- und Breitenrichtungen senkrecht zur Hauptaxe lagen (Gattung $90^0$ A) nicht zu umgehen; diese Gattung zeigte demgemäss die zahlreichsten kleinen, die Stäbchen ganz durchsetzenden Sprünge und eine ziemliche Anzahl ist bei der Herstellung, bei der Einspannung und schliesslich noch bei der Drillung unter mässigen Belastungen zerbrochen. Die erst bei den Beobachtungen gesprungenen ergaben unverhältnissmässig kleine Werthe der Torsionsconstanten $T$ (d. h. geringen Widerstand gegen die Torsion) und durften, da offenbar eben jene Sprünge die Ursache der Abweichung waren, von der Schlussberechnung ausgeschlossen werden. Bei dieser unangenehmen Eigenschaft jener Gattung Stäbchen mussten schliesslich alle sprungfreien kurzen Stückchen ausgenutzt werden und durch einige Vorsicht sind noch bei Längen von nur etwa 10 mm. gute und sichere Resultate erreicht worden, wenn gleich natürlich den ungünstigeren Umständen entsprechend der wahrscheinliche Fehler der Endresultate hier grösser ist, als bei den übrigen Gattungen.

Da die klar ausgeprägte Krystallform des Berylls die Bestimmung der Orientirung der Stäbchen noch weiter durchzuführen gestattete, als nach ihrem optischen Verhalten allein möglich gewesen wäre, so habe ich die günstige Gelegenheit benutzt, um ausser der Bestimmung der Constanten noch eine andere Aufgabe zu lösen.

Die Theorie ergiebt, wie ich schon früher gezeigt habe[1], das Resultat, dass bei holoëdrischen hexagonalen Krystallen Richtungen, die durch Drehung um die Hauptaxe zur Deckung gebracht werden können, elastisch gleichwerthig sind. Dieses mit dem mineralogischen Verhalten des Systems in so eigenthümlichem Widerspruch stehende Resultat konnte am Beryll geprüft werden. Die zunächst für die Biegungsbeobachtungen bestimmten Stäbchen normal zur Hauptaxe, welche, wie oben ausgeführt, ihre Breitseiten parallel der Hauptaxe hatten,

[1] W. Voigt, Wied. Ann. Bd. XVI. p. 408, 421 u. 427, 1882.

Digitized by Google

sind zum Theil so geschnitten, dass die Längsrichtung in eine krystallographische Nebenaxe (Gattung 90° B I) fällt, zum Theil so, dass sie den Winkel zwischen zweien halbirt (Gattung 90° B II). Die hiermit angestellten Beobachtungen sind unten mitgetheilt.

Ferner ergiebt die Theorie das Resultat, dass die Torsionscoëfficienten der beiden Gattungen 90° B I und II nicht nur unter einander, sondern auch mit dem an der Gattung 0° erhaltenen übereinstimmen sollen; auch dieser Punkt liess sich durch die Beobachtung prüfen.

In den folgenden Beobachtungstafeln sind die Querdimensionen in Trommeltheilen des Sphärometers (= 1/992,7 mm.) angegeben. Die Berechnung der $\delta_0$, $\delta_1$, $\delta_2$ ist früher[1] besprochen. Die Anordnung der für $\delta$ gegebenen Zahlen entspricht der Vertheilung der Messungen auf der Breitseite des Stäbchens, die mittleren Reihen sind sehr nahe der Mitte, die äusseren um etwa $\frac{1}{8}$ der Breite vom Rande entfernt beobachtet.

Von den Biegungen $\eta$ und Torsionen $\sigma$ sind nur die Mittelwerthe aus 4—12 Beobachtungen in Millimetern der Beobachtungsscala (gleich 0,000249 mm.) unter Anwendung der Reduction von der Tangente auf den Bogen angegeben; die für die Berechnung anzuwendenden Dicken $D$ ist nach der Formel (6) berechnet, für die Breite $B$ ist das arithmetische Mittel der beobachteten Werthe genommen; dabei ist, um wirklich den Mittelwerth zu erhalten, der am Anfang und Ende gemessene Werth nur mit halbem Einfluss verwendet. Dasselbe ist bei den zur Berechnung der Torsionsbeobachtungen bestimmten Werthe mit den auf der beobachteten Länge liegenden Messungen geschehen. $L$ ist die benutzte Länge, $\vartheta$ die Beobachtungstemperatur, $\varrho$ das Maass der Reibung der Axen, $P$ die Belastung, $\eta'$ die Durchdrückung der Lager bei den Biegungsversuchen, welche durch directe Beobachtungen bestimmt worden sind. Bei den Torsionsversuchen ist das Gewicht der Wagschale $G$ unbestimmt gelassen und die Anzahl der zugefügten Gramme angegeben, die Berechnung der einer gegebenen Belastung entsprechenden Torsion $\sigma$ ist oben besprochen.

---

[1] W. Voigt, Dies. Jahrb. 1884. Beil.-Bd. IV. p. 231.

Digitized by Google

Bei sämmtlichen Beobachtungen hat mir Herr Dr. Hennig vom math.-physikalischen Institut der Universität vielfältigste Hülfe geleistet.

## Dimensionen.

0° No. 1.

| | $D = 500 + \delta$ | | | | $B = 4000 + \beta$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | $-0{,}1$ | $+5{,}4$ | 11,7 | 21,6 | 28,4 | $\beta =$ | 4,3 | 30,8 | 45,0 | 56,1 | 45,6 |
| | $+5{,}0$ | 9,7 | 16,5 | 26,8 | 30,9 | | 3,7 | 32,3 | 45,8 | 55,7 | 44,1 |
| | 5,2 | 9,1 | 16,7 | 25,3 | 30,4 | Mittel | 4,0 | 31,5 | 45,4 | 55,9 | 44,8 |
| | 4,2 | 9,3 | 16,7 | 25,5 | 29,8 | | | | | | |
| Mittel | 3,6 | 8,4 | 15,4 | 24,8 | 29,9 | | | | | | |
| ber. | 3,1 | 9,3 | 16,0 | 23,1 | 30,7 | | | | | | |

$\delta_0 = 16{,}0$, $\delta_1 = 6{,}9$, $\delta_2 = 0{,}21$.

0° No. 2.

| | $D = 500 + \delta$ | | | | $B = 4000 + \beta$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | $-1{,}3$ | $+6{,}0$ | 14,2 | 24,4 | 32,0 | $\beta =$ | $-20{,}5$ | $+23{,}5$ | 44,5 | 51,6 | 33,2 |
| | $+0{,}6$ | 8,7 | 17,4 | 27,0 | 34,0 | | $-21{,}1$ | $+23{,}9$ | 44,5 | 52,5 | 32,8 |
| | 2,0 | 8,8 | 16,8 | 26,2 | 33,9 | Mittel | $-20{,}8$ | $+23{,}7$ | 44,5 | 52,0 | 33,0 |
| | 1,2 | 9,9 | 17,2 | 27,8 | 35,0 | | | | | | |
| Mittel | 0.6 | 8,3 | 16,4 | 26,3 | 33,7 | | | | | | |
| ber. | 0,4 | 8,6 | 16,9 | 25,4 | 34,0 | | | | | | |

$\delta_0 = 16{,}9$, $\delta_1 = 8{,}4$, $\delta_2 = 0{,}09$.

0° No. 3.

| | $D = 500 + \delta$ | | | | $B = 4000 + \beta$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 5,2 | 7,5 | 13,2 | 23,0 | 32,6 | $\beta =$ | $-4{,}5$ | $+30{,}6$ | 48,1 | 55,0 | 38,2 |
| | 4,0 | 6,8 | 12,1 | 21,6 | 33,7 | | $-4{,}5$ | $+30{,}5$ | 46,8 | 55,7 | 36,1 |
| | 9,6 | 7,7 | 12,9 | 22,7 | 33,0 | Mittel | $-4{,}5$ | $+30{,}5$ | 47,4 | 55,3 | 37,2 |
| | 6,3 | 3,8 | 9,2 | 20,2 | 30,4 | | | | | | |
| Mittel | 6,3 | 6,5 | 11,8 | 21,9 | 31,9 | | | | | | |
| ber. | 5,8 | 7,2 | 12,2 | 20,6 | 32,6 | | | | | | |

$\delta_0 = 12{,}2$, $\delta_1 = 6{,}7$, $\delta_2 = 1{,}74$.

0° No. 4.

| | $D = 500 + \delta$ | | | | $B = 3800 + \beta$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 42,8 | 35,2 | 23,8 | 24,5 | 9,0 | $\beta =$ | 134 | 124 | 112 | 98 | 76 |
| | 51,8 | 37,9 | 26,9 | 25,9 | 10,5 | | 134 | 125 | 112 | 99 | 72 |
| | 51,3 | 37,6 | 26,6 | 16,9 | 7,3 | Mittel | 134 | 124 | 112 | 99 | 74 |
| | 45,9 | 37,8 | 28,0 | 24,5 | 9,0 | | | | | | |
| Mittel | 48,0 | (37,1) | 26,3 | (21,3)[1] | 8,4 | | | | | | |
| ber. | 48,0 | 36,7 | 26,3 | 16,9 | 8,4 | | | | | | |

$\delta_0 = 26{,}3$, $\delta_1 = 9{,}9$, $\delta_2 = 0{,}47$.

[1] An dieser Stelle ist, wie die Messungen zeigen, eine offenbare Unregelmässigkeit der Stäbchenoberfläche vorhanden. Diese und die correspondirende zweite Messung ist daher von der Berechnung ausgeschlossen.

Digitized by Google

0° No. 5. $D = 500 + \delta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 28,0 | 19,8 | 12,1 | 7,7 | 1,6 |
| | 28,7 | 21,0 | 13,1 | 7,0 | 4,4 |
| | 28,7 | 20,7 | 13,1 | 6,8 | 2,0 |
| | 29,6 | 21,5 | 13,1 | 8,2 | 4,4 |
| Mittel | 28,7 | 20,8 | 12,9 | 7,4 | 3,1 |
| ber. | 29,0 | 20,6 | 13,2 | 7,6 | 3,0 |

$\delta_0 = 13{,}2$, $\delta_1 = 6{,}5$, $\delta_2 = 0{,}69$.

$B = 3900 + \beta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 65 | 62 | 59 | 58 | 56 |
| | 66 | 62 | 59 | 60 | 58 |
| Mittel | 65 | 62 | 59 | 59 | 57 |

45° No. 1. $D = 500 + \delta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 13,3 | 23,0 | 32,4 | 41,5 | 48,2 |
| | 17,0 | 28,3 | 38,8 | 44,5 | 52,7 |
| | 17,1 | 28,9 | 38,2 | 45,5 | 52,1 |
| | 17,1 | 28,4 | 37,4 | 44,8 | 50,3 |
| Mittel | 16,1 | 27,1 | 36,7 | 44,1 | 50,8 |
| ber. | 16,0 | 27,2 | 36,6 | 44,4 | 50,4 |

$\delta_0 = 36{,}6$, $\delta_1 = 8{,}6$, $\delta_2 = -0{,}84$.

$B = 3800 + \beta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 78,8 | 99,1 | 113,9 | 128,0 | 138,9 |
| | 81,2 | 100,9 | 115,3 | 129,2 | 137,1 |
| Mittel | 80,0 | 100,0 | 114,6 | 128,6 | 138,0 |

45° No. 2. $D = 500 + \delta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 15,5 | 15,6 | 23,0 | 33,4 | 44,2 |
| | 13,7 | 17,7 | 24,7 | 35,9 | 47,9 |
| | 15,4 | 19,4 | 25,3 | 36,6 | 47,2 |
| | 14,8 | 19,5 | 25,5 | 36,6 | 48,3 |
| Mittel | 14,8 | 18,0 | 24,6 | 35,6 | 46,9 |
| ber. | 14,5 | 18,3 | 25,0 | 34,7 | 47,3 |

$\delta_0 = 25{,}0$, $\delta_1 = 8{,}2$, $\delta_2 = +1{,}47$.

$B = 3800 + \beta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 88,0 | 102,5 | 116,0 | 131,0 | 143,0 |
| | 87,1 | 103,2 | 117,3 | 133,4 | 141,5 |
| Mittel | 87,5 | 102,8 | 116,7 | 132,2 | 142,2 |

45° No. 3. $D = 500 + \delta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | $-3{,}5$ | $+1{,}3$ | 8,4 | 19,5 | 29,8 |
| | $+0{,}5$ | 4,5 | 11,5 | 22,3 | 34,5 |
| | 2,2 | 3,3 | 10,6 | 21,8 | 34,8 |
| | 2,3 | 6,0 | 12,8 | 23,8 | 35,5 |
| Mittel | 0,4 | 3,8 | 10,8 | 21,9 | 33,7 |
| ber. | 0,1 | 4,1 | 11,1 | 21,1 | 34,1 |

$\delta_0 = 11{,}1$, $\delta_1 = 8{,}5$, $\delta_2 = 1{,}49$.

$B = 3800 + \beta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 96,2 | 113,4 | 125,6 | 142,8 | 153,7 |
| | 96,8 | 112,3 | 128,1 | 143,1 | 125,1 |
| Mittel | 96,5 | 112,8 | 126,8 | 143,0 | 125,9 |

45° No. 4. $D = 500 + \delta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 8,9 | 14,4 | 20,3 | 27,2 | 35,2 |
| | 11,5 | 19,5 | 22,7 | 29,8 | 36,3 |
| | 14,9 | 17,5 | 22,7 | 30,1 | 36,7 |
| | 8,9 | 14,4 | 20,3 | 27,2 | 35,2 |
| Mittel | 12,5 | 18,6 | 22,2 | 29,1 | 36,3 |
| ber. | 12,9 | 17,5 | 22,9 | 29,1 | 36,1 |

$\delta_0 = 22{,}9$ $\delta_1 = 5{,}8$, $\delta_2 = 0{,}4$.

$B = 3900 + \beta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 53 | 56 | 56 | 61 | 64 |
| | 54 | 56 | 56 | 60 | 64 |
| Mittel | 54 | 56 | 56 | 60 | 64 |

Digitized by Google

90° A. No. 1. $D = 600 + \delta$

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 79,9 | 79,1 | 77,8 | 77,1 | 76,1 |
| | 83,2 | 82,4 | 81,0 | 80,6 | 79,2 |
| | 83,7 | 81,9 | 81,1 | 80,4 | 79,2 |
| | 83,9 | 83,1 | 82,9 | 81,5 | 80,1 |
| Mittel | 82,7 | 81,6 | 80,7 | 80,1 | 78,7 |

$B = 3900 + \beta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 0 | 10 | 6 |
| | 4 | 11 | 6 |
| Mittel | 2 | 10,5 | 6 |

90° A. No. 2. $D = 600 + \delta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 88,5 | 85,6 | 76,7 |
| | 81,6 | 73,9 | 65,1 |
| | 80,1 | 78,4 | 69,2 |
| | 72,2 | 67,8 | 58,4 |
| Mittel | 80,6 | 76,4 | 67,4 |

$B = 3900 + \beta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 44 | 51 | 57 |
| | 44 | 50 | 55 |
| Mittel | 44 | 50,5 | 56 |

90° A. No. 3. $D = 600 + \delta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 76,7 | 85,5 | 81,4 |
| | 74,0 | 80,1 | 81,3 |
| | 73,3 | 80,4 | 80,1 |
| | 75,9 | 81,0 | 79,7 |
| Mittel | 75,0 | 81,8 | 80,6 |

$B = 3900 + \beta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 47 | 55 | 58 |
| | 46 | 56 | 60 |
| Mittel | 46 | 56 | 59 |

90° A. No. 4. $D = 600 + \delta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 95,1 | 94,3 | 93,4 |
| | 94,6 | 94,2 | 93,8 |
| | (99,3 | 99,5)[1] | 93,5 |
| | 95,8 | 92,7 | 92,6 |
| Mittel | 96,2 | 95,2 | 93,3 |

$B = 3900 + \beta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 20 | 19 | 9 |
| | 20 | 19 | 9 |
| Mittel | 20 | 19 | 9 |

90° A. No. 5. $D = 600 + \delta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 75,3 | 77,6 | 81,2 |
| | 74,5 | 78,3 | 81,4 |
| | 77,0 | 79,3 | 80,9 |
| | 77,8 | 78,7 | 85,0 |
| Mittel | 76,2 | 78,5 | 82,1 |

$B = 3900 + \beta$

| | | |
|---|---|---|
| $\beta =$ | 9 | 9 |
| | 9 | 6 |
| Mittel | 9 | 7 |

90° A. No. 6. $D = 600 + \delta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 82,5 | 83,6 | 84,7 |
| | 87,1 | 88,1 | 89,9 |
| | 88,8 | 88,2 | 90,0 |
| | 90,0 | 88,1 | 89,2 |
| Mittel | 87,1 | 87,0 | 88,4 |

$B = 3900 + \beta$

| | | |
|---|---|---|
| $\beta =$ | 3 | 0 |
| | 2 | 2 |
| Mittel | 2 | 1 |

[1] Nachweisbare oberflächliche Verunreinigung, die sich nicht entfernen liess.

Digitized by Google

90° B I. No. 1. $D = 400 + \delta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 40,8 | 57,4 | 75,8 |
| | 47,6 | 62,9 | 80,2 |
| | 47,8 | 63,6 | 79,7 |
| | 48,9 | 64,0 | 81,1 |
| Mittel | 46,3 | 62,0 | 79,2 |

$\delta_0 = 62{,}0,\ \delta_1 = 16{,}4,\ \delta_2 = 0{,}75.$

$B = 4000 + \beta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 53,8 | 70,3 | 78,5 |
| | 54,4 | 71,1 | 78,3 |
| Mittel | 54,1 | 70,7 | 78,4 |

90° B I. No. 2. $D = 400 + \delta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 34,1 | 49,1 | 62,5 |
| | 43,9 | 56,4 | 71,9 |
| | 44,1 | 57,9 | 72,9 |
| | 50,7 | 65,6 | 78,0 |
| Mittel | 43,2 | 57,2 | 71,3 |

$\delta_0 = 57{,}2,\ \delta_1 = 14{,}0,\ \delta_2 = 0{,}05.$

$B = 4000 + \beta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 81,3 | 79,5 | 65,7 |
| | 82,6 | 80,5 | 65,5 |
| Mittel | 82,0 | 80,0 | 65,6 |

90° B II. No. 1. $D = 400 + \delta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 21,3 | 47,4 | 78,5 |
| | 25,0 | 49,5 | 81,7 |
| | 25,9 | 49,4 | 80,8 |
| | 29,7 | 55,8 | 85,5 |
| Mittel | 25,5 | 50,5 | 81,6 |

$\delta_0 = 50{,}5,\ \delta_1 = 28{,}0,\ \delta_2 = 3{,}05.$

$B = 3800 + \beta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 79,7 | 93,7 | 115,7 |
| | 80,4 | 94,1 | 116,3 |
| Mittel | 80,0 | 93,9 | 116,0 |

90° B II. No. 2. $D = 400 + \delta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 38,8 | 57,0 | 76,1 |
| | 43,2 | 60,6 | 82,8 |
| | 43,6 | 60,0 | 83,0 |
| | 46,1 | 64,0 | 83,6 |
| Mittel | 42,9 | 60,4 | 81,4 |

$\delta_0 = 60{,}4,\ \delta_1 = 19{,}2,\ \delta_2 = 1{,}75.$

$B = 3800 + \beta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 84,6 | 98,8 | 117,9 |
| | 85,1 | 100,0 | 117,1 |
| Mittel | 84,8 | 99,4 | 117,5 |

90° B II. No. 3. $D = 400 + \delta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 36,8 | 51,0 | 72,7 |
| | 47,1 | 59,7 | 81,9 |
| | 48,3 | 59,2 | 85,4 |
| | 49,8 | 63,4 | 86,2 |
| Mittel | 45,5 | 58,3 | 81,5 |

$\delta_0 = 58{,}3,\ \delta_1 = 18{,}0,\ \delta_2 = 5{,}2.$

$B = 3800 + \beta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 113,8 | 92,2 | 80,2 |
| | 115,2 | 91,6 | 78,2 |
| Mittel | 114,5 | 91,9 | 79,2 |

90° B II. No. 4. $D = 400 + \beta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 76,6 | 68,3 | 61,0 |
| | 80,3 | 74,9 | 69,9 |
| | 82,3 | 73,6 | 66,8 |
| | 84,0 | 75,4 | 68,4 |
| Mittel | 80,7 | 73,1 | 66,5 |

$B = 3800 + \delta$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 86 | 99 | 109 |
| | 89 | 98 | 110 |
| Mittel | 88 | 99 | 109 |

Digitized by Google

## Biegungen.

0° No. 1. $L = 34{,}4$, $B = 4036$, $D = 516{,}0$, $P = 60$, $\vartheta = 16{,}5$, $\eta' = 3{,}0$.
$\eta = 201{,}2$, $\varrho_1 = 2{,}8$, $\varrho_2 = 2{,}4$, $E = \mathbf{21670000}$.

No. 2. $L = 34{,}4$, $B = 4026{,}5$, $D = 516{,}8$, $P = 60$, $\vartheta = 17$, $\eta' = 3{,}0$.
$\eta = 200{,}4$, $\varrho_1 = 2{,}9$, $\varrho_2 = 2{,}5$, $E = \mathbf{21710000}$.

No. 3. $L = 34{,}4$, $B = 4033$, $D = 511{,}6$, $P = 60$, $\vartheta = 16{,}4$, $\eta' = 3{,}0$.
$\eta = 205{,}1$, $\varrho_1 = 3{,}5$, $\varrho_2 = 2{,}8$, $E = \mathbf{21820000}$.

No. 4. $L = 34{,}03$, $B = 3910$, $D = 526{,}3$, $P = 60$, $\vartheta = 18$, $\eta' = 2{,}4$.
$\eta = 189{,}4$, $\varrho_1 = 3{,}3$, $\varrho_2 = 2{,}5$, $E = \mathbf{21580000}$.

No. 5. $L = 34{,}03$, $B = 3960$, $D = 513{,}4$, $P = 60$, $\vartheta = 19$, $\eta' = 2{,}4$.
$\eta = 202{,}3$ $\varrho_1 = 3{,}5$, $\varrho_2 = 2{,}3$, $E = \mathbf{21470000}$.
Gesammtmittel $E_0 = \mathbf{21650000}$, $E_0 = \mathbf{4{,}619 \cdot 10^{-8}}$
Wahrscheinlicher Fehler $\pm 40000$, $\pm 0{,}0085$.

45° No. 1. $L = 30{,}4$, $B = 3912$, $D = 536{,}2$, $P = 60$, $\vartheta = 16{,}5$, $\eta' = 3{,}0$.
$\eta = 153{,}3$, $\varrho_1 = 3{,}6$, $\varrho_2 = 2{,}8$, $E = \mathbf{17700000}$.

No. 2. $L = 30{,}4$, $B = 3920$, $D = 524{,}5$, $P = 60$, $\vartheta = 18$, $\eta' = 3{,}0$.
$\eta = 160{,}3$, $\varrho_1 = 2{,}5$, $\varrho_2 = 2{,}0$, $E = \mathbf{18020000}$.

No. 3. $L = 30{,}4$, $B = 3926{,}4$, $D = 511{,}5$, $P = 60$, $\vartheta = 18$, $\eta' = 3{,}0$.
$\eta = 171{,}4$, $\varrho_1 = 3{,}0$, $\varrho_2 = 2{,}5$, $E = \mathbf{18130000}$.

No. 4. $L = 30{,}03$, $B = 3958$, $D = 525{,}1$, $P = 60$, $\vartheta = 18$, $\eta' = 2{,}4$.
$\eta = 153{,}6$, $\varrho_1 = 3{,}5$, $\varrho_2 = 2{,}2$, $E = \mathbf{18010000}$.
Gesammtmittel $E_{45} = \mathbf{17960000}$, $E_{45} = \mathbf{5{,}568 \cdot 10^{-8}}$
Wahrscheinlicher Fehler $\pm 62000$, $\pm 0{,}019$.

90° BI. No. 1. $L = 22{,}35$, $B = 4067{,}7$, $D = 462{,}0$, $P = 60$, $\vartheta = 19$, $\eta' = 3{,}0$.
$\eta = 72{,}9$, $\varrho_1 = 2{,}8$, $\varrho_2 = 2{,}0$, $E = \mathbf{23300000}$.

No. 2. $L = 18{,}4$, $B = 4076$, $D = 457{,}1$, $P = 70$, $\vartheta = 17{,}2$, $\eta' = 3{,}4$.
$\eta = 52{,}2$, $\varrho_1 = 3{,}0$, $\varrho_2 = 2{,}0$, $E = \mathbf{22850000}$.
Wegen der Belastung mit 70 gr. ist $\eta'$ um 0,4 vergrössert.

90° BII. No. 1. $L = 22{,}4$, $B = 3897$, $D = 450{,}5$, $P = 60$, $\vartheta = 21{,}5$, $\eta' = 3{,}0$.
$\eta = 87{,}3$, $\varrho_1 = 2{,}5$, $\varrho_2 = 2{,}2$, $(E = \mathbf{21890000.})$

No. 2. $L = 22{,}4$, $B = 3901$, $D = 460{,}4$, $P = 60$, $\vartheta = 21{,}5$, $\eta' = 3{,}0$.
$\eta = 77{,}4$, $\varrho_1 = 2{,}4$, $\varrho_2 = 2{,}0$, $E = \mathbf{23210000}$.

No. 3. $L = 20{,}4$, $B = 3895$, $D = 458{,}7$, $P = 60$, $\vartheta = 21{,}8$, $\eta' = 3{,}0$.
$\eta = 60{,}2$, $\varrho_1 = 2{,}4$, $\varrho_2 = 2{,}2$, $E = \mathbf{23100000}$.

Das Stäbchen 90° B No. 1 war von der Seite her eingesprungen; man bemerkt, wie dadurch der Werth von $E$ herabgedrückt ist. Die bezügliche Beobachtung ist demgemäss von der Berechnung auszuschliessen.

Die übrigen Resultate zeigen die vollständigste Übereinstimmung der Dehnungscoëfficienten $E$ für die Gattungen



Digitized by Google

90° BI und BII. Entsinnt man sich, dass die erste parallel einer krystallographischen Nebenaxe, die letztere normal dazu (also in der Halbirungslinie des Winkels zweier Nebenaxen) liegt, so erweisen die vorstehenden Beobachtungen die Unterschiedslosigkeit dieser Richtungen in elastischer Hinsicht und bestätigen das bezügliche oben ausgesprochene Resultat der Theorie.

Man erhält für alle Stäbchen der Gattung 90° B die Werthe:

Gesammtmittel $E_{90} = 23120000$, $E_{90} = 4{,}325 \cdot 10^{-8}$
wahrscheinlicher Fehler $\pm 66000$, $\pm 0{,}012$.

Nach diesem Zahlenwerth besitzt Beryll in der Richtung normal zur Hauptaxe den grössten bisher beobachteten Elasticitätscoëfficienten, übertrifft darin nicht unerheblich den Stahl, welcher bisher mit $E = 21000000$ in erster Linie stand.

## Drillungen.

0° No. 1. $L = 24{,}32$, $B = 4044{,}3$, $D = 516{,}2$, $A = 5163$*, $\vartheta = 18{,}5$.

| | $G+20$ | $G+10$ | $G$ | |
|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma = 202{,}5$ | 123,4 | 44,6, | $\varrho = 4{,}0$ |
| rR. | $\sigma = 199{,}7$ | 121,9 | 43,3, | $\varrho = 5{,}0$ |
| | $\sigma_{10} = 78{,}6$. | | | $T = 6671000$. |

0° No. 2. $L = 27{,}53$, $B = 4040$, $D = 517{,}0$, $A = 5163$, $\vartheta = 16{,}5$.

| | $G+20$ | $G+10$ | $G$ | |
|---|---|---|---|---|
| rR. | $\sigma = 224{,}6$ | 146,4 | 48,0, | $\varrho = 4{,}0$ |
| | $\sigma_{10} = 88{,}3$. | | | $T = 6707000$. |

0° No. 3. $L = 28{,}0$, $B = 4044$, $D = 513{,}4$, $A = 5163$, $\vartheta = 17{,}7$.

| | $G+20$ | $G+10$ | $G$ | |
|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma = 232{,}2$ | 140,9 | 49,3, | $\varrho = 6{,}5$ |
| rR. | $\sigma = 234{,}9$ | 143,1 | 51,8, | $\varrho = 3{,}5$ |
| | $\sigma_{10} = 91{,}55$. | | | $T = 6710000$. |

0° No. 4. $L = 30{,}08$, $B = 3910$, $D = 527{,}0$, $A = 5163$, $\vartheta = 18{,}0$.

| | $G+20$ | $G+10$ | $G$ | |
|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma = 246{,}5$ | 150,7 | 54,9, | $\varrho = 4{,}0$ |
| rR. | $\sigma = 245{,}3$ | 149,4 | 53,6, | $\varrho = 6{,}0$ |
| | $\sigma_{10} = 95{,}82$ | | | $T = 6608000$. |

0° No. 5. $L = 29{,}80$, $B = 3960$, $D = 514{,}3$, $A = 5163$, $\vartheta = 17{,}8$.

| | $G+20$ | $G+10$ | $G$ | |
|---|---|---|---|---|
| rR. | $\sigma = 256{,}3$ | 156,1 | 55,6, | $\varrho = 6{,}5$ |
| | $\sigma_{10} = 100{,}35$. | | | $T = 6632000$. |

Gesammtmittel $T_0 = 6666000$, $T_0 = 15{,}000 \cdot 10^{-8}$
wahrscheinlicher Fehler $\pm 14000$, $\pm 0{,}036$.

* $A$ bezeichnet den Abstand der Beobachtungsscala von den Spiegeln des Torsionsapparates.

Digitized by Google

90° A. No. 1. $L = 16{,}94$, $B = 3907$, $D = 680{,}8$, $A = 5163$, $\vartheta = 19$.

| | | $G+20$ | $G+10$ | $G$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| rR. | $\sigma =$ | 53,3 | 33,9 | 14,6, | $\varrho = 1{,}5$ |
| lR. | $\sigma =$ | 53,4 | 34,0 | 14,8, | $\varrho = 0{,}1$ |

$\sigma_{10} = 19{,}32$. $T = 8950000$.

Da dieses Stäbchen das beste dieser gefährlichen Gattung war, ist es noch einmal mit anderer Belastung und in anderer Länge beobachtet worden.

$L = 16{,}30$, $\vartheta = 18{,}5$.

| | | $G+20$ | $G+10$ | $G$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| rR. | $\sigma =$ | 65,6 | 37,7 | 10,1, | $\varrho = 1{,}5$ |
| lR. | $\sigma =$ | 66,9 | 38,8 | 10,9, | $\varrho = 0{,}7$ |

$\sigma_{15} = 27{,}85$. $T_{90} = 8980000$.

Die vollkommene Übereinstimmung dieses Werthes mit dem vorhergehenden weist darauf hin, dass die Unsicherheit der Resultate nicht in den elastischen Beobachtungen, sondern in den Dimensionenbestimmungen und der Ungleichheit des Materiales begründet ist.

90° A. No. 2. $L = 12{,}54$, $B = 3950$, $D = 675{,}2$, $A = 5163$, $\vartheta = 18{,}5$.

| | | $G+20$ | $G+10$ | $G$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma =$ | 41,2 | 26,2 | 11,3, | $\varrho = 0{,}4$ |
| rR. | $\sigma =$ | 41,0 | 26,2 | 11,4, | $\varrho = 1{,}0$ |

$\sigma_{10} = 14{,}92$. $T = 8700000$.

90° A. No. 3. $L = 16{,}16$, $B = 3954$, $D = 679{,}8$, $A = 5163$, $\vartheta = 16$.

| | | $G+20$ | $G+10$ | $G$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| rR. | $\sigma =$ | 52,7 | 33,2 | 13,7, | $\varrho =$ ? |

$\sigma_{10} = 19{,}50$ (zerbrochen!) ($T = 8400000$)*.

90° A. No. 4. $L = 10{,}36$, $B = 3917$, $D = 695{,}0$, $A = 5163$, $\vartheta = 18$.

| | | $G+30$ | $G+15$ | $G$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma =$ | 40,5 | 23,4 | 6,6, | $\varrho = 0{,}2$ |
| rR. | $\sigma =$ | 40,8 | 23,9 | 6,8, | $\varrho = 0{,}4$ |

$\sigma_{15} = 16{,}98$. $T = 8810000$.

90° A. No. 5. $L = 14{,}0$, $B = 3908$, $D = 678{,}8$, $A = 5163$, $\vartheta = 19$.

| | | $G+20$ | $G+10$ | $G$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| rR. | $\sigma =$ | 47,6 | 30,3 | 12,6, | $\varrho = 2{,}5$ |

$\sigma_{10} = 17{,}45$ (zerbrochen!) ($T = 8280000$)*.

90° A. No. 6. $L = 11{,}20$, $B = 3902$, $D = 687{,}4$, $A = 5163$, $\vartheta = 18$.

| | | $G+30$ | $G+15$ | $G$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| rR. | $\sigma =$ | 48,2 | 28,9 | 9,7, | $\varrho = 1{,}0$ |
| lR. | $\sigma =$ | 48,4 | 29,0 | 9,8, | $\varrho = 0{,}8$ |

$\sigma_{15} = 19{,}25$. $T = 8710000$.

Gesammtmittel $T_{90} = 8830000$, $T_{90} = 11{,}825 \cdot 10^{-6}$

Wahrscheinlicher Fehler $\pm 40000$, $\pm 0{,}052$.

* Von der Berechnung aus dem oben erörterten Grunde ausgeschlossen.



Digitized by Google

90° BI. No. 2. $L = 14{,}9$, $B = 4077$, $D = 457{,}2$, $A = 5163$, $\vartheta = 17{,}5$.

| | $G+12$ | $G+6$ | $G$ | |
|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma = 117{,}7$ | 77,3 | 37,4, | $\varrho = 4{,}0$ |
| rR. | $\sigma = 117{,}7$ | 77,6 | 36,8, | $\varrho = 4{,}0$ |
| | $\sigma_6 = 40{,}30.$ | | | $T'_{90} = 6705000.$ |

90° BII. No. 4. $L = 10{,}85$, $B = 3898$, $D = 473{,}4$, $A = 5163$, $\vartheta = 18$.

| | $G+20$ | $G+10$ | $G$ | |
|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma = 112{,}2$ | 66,4 | 21,2, | $\varrho = 8{,}5$ |
| rR. | $\sigma = 116{,}2$ | 70,4 | 24,3, | $\varrho = 3{,}6$ |
| | $\sigma_{10} = 45{,}7$ | | | $T'_{90} = 6770000.$ |

Wie oben erwähnt soll die Gattung 90° B I und II den gleichen Torsionscoëfficienten ergeben, wie die Gattung 0°. Die Beobachtung bestätigt dies auf das vollkommenste. Man könnte also mit Stäbchen senkrecht zur Axe allein diese zwei Torsionscoëfficienten bestimmen. Vorstehende letzte Beobachtungen sind bei der folgenden Berechnung nicht berücksichtigt, sie würden den Mittelwerth $T_0$ nur um einige Tausendtheile vergrössern, also die Resultate nur unmerklich alteriren.

### 3. Resultate.

Aus den oben gefundenen Werthen

$$E_0 = 4{,}619.10^{-8} (\pm 0{,}009) \qquad T_0 = 15{,}000.10^{-8} (\pm 0{,}036)$$
$$E_{45} = 5{,}568.10^{-8} (\pm 0{,}019) \qquad T_{90} = 11{,}325.10^{-8} (\pm 0{,}052)$$
$$E_{90} = 4{,}325.10^{-8} (\pm 0{,}012)$$

folgen nach den Formeln (15) pag. 72 sogleich die Determinantenverhältnisse $S_{hk}/S = s_{hk}$, nämlich

$$s_{11} = 4{,}325.10^{-8}, \quad s_{12} = -1{,}338.10^{-8}, \quad s_{13} = 0{,}836.10^{-8},$$
$$(\pm 0{,}012) \qquad (\pm 0{,}029) \qquad (\pm 0{,}043)$$
$$s_{33} = 4{,}619.10^{-8}, \quad s_{44} = 15{,}000.10^{-8}.$$
$$(\pm 0{,}009) \qquad (\pm 0{,}036)$$

Dabei ist der wahrscheinliche Fehler jeder Zahl gleich der Wurzel aus der Summe der Quadrate der wahrscheinlichen Fehler ihrer Teile nach den Formeln (15) gesetzt.

Durch Einsetzung dieser Werthe ergiebt sich der allgemeine Werth des Dehnungs- oder Biegungscoëfficienten in einer Richtung, die den Winkel $\varphi$ gegen die Hauptaxe macht, nach Formel (4):

$$E_\varphi = 4{,}325 \,.\, \sin^4\varphi + 4{,}619 \,.\, \cos^4\varphi + 13{,}328 \,.\, \sin^2\varphi \,.\, \cos^2\varphi.$$

Ein Maximum oder Minimum hat dieser Coëfficient für Richtungen $\bar{\varphi}$, die erfüllen:

Digitized by Google

$$\frac{dE_\varphi}{d\varphi} = 0 = 2\sin\bar{\varphi}\cos\bar{\varphi}\,(8{,}650\sin^2\bar{\varphi} - 9{,}238\cos^2\bar{\varphi} + 13{,}328(\cos\bar{\varphi}^2 - \sin^2\bar{\varphi}))$$

d. h. für $\bar{\varphi} = 0$, $\bar{\varphi} = 90^0$ und ein $\bar{\varphi}$, für welches gilt:

$$\mathrm{tg}^2\varphi = \frac{4{,}090}{4{,}678} \text{ d. h. für } \bar{\varphi} = 43^0\,5' \text{ ca.}$$

Die zugehörigen Werthe sind:

$$E_0 = 4{,}619, \qquad E_{45} = 5{,}573, \qquad E_{90} = 4{,}325.$$

Die für $E_\varphi$ aufgestellte Formel gestattet auch, zu beurtheilen, wie gross der Einfluss einer nicht vollständig richtigen Orientirung auf den Werth des beobachteten E ist. Man erkennt, dass für die Gattungen ($0^0$) und ($90^0$) der Einfluss mit aller Strenge nur zweiter Ordnung wird (also bei Fehlern, welche innerhalb $2^0$ bleiben, etwa 1/1000 beträgt) bei der Gattung ($45^0$) aber äusserst nahezu, da diese Richtung fast genau mit derjenigen des Maximums für E übereinstimmt. Herr Dr. Hennig hat an einer grösseren Zahl von Beryllstäbchen die Orientirung aus der Schwingungsebene des durch die Schmal- und Breitseiten hindurchgegangenen Lichtes bestimmt und die Abweichungen von der geforderten Richtung stets kleiner als $2^0$, meist unter $\frac{1}{2}^0$ liegend gefunden:

Die als Coëfficient der Drillung bezeichnete Function lautet für Beryll nach Formel (7):

$$T_\varphi = 15{,}000 - 3{,}675\cos^2\varphi_2 - 17{,}536\,.\cos^2\varphi\,.\cos^2\varphi_1.$$

Hierin bezeichnen $\varphi$, $\varphi_1$, $\varphi_2$ die Winkel der Längs-, Breiten- und Dickenrichtung gegen die Hauptaxe. Dieser Coëfficient bestimmt ganz allein die Abhängigkeit der Drillung von der Orientirung, wenn die Dicke des Prismas sehr klein gegen seine Breite ist. Insofern ist seine Discussion ebenfalls von Interesse.

Lässt man die Breitseite des Stäbchens im Hauptschnitt liegen, so ist $\varphi_2 = \frac{\pi}{2}$ zu setzen $\varphi_1 = \frac{\pi}{2} + \varphi$ also

$$T\left(\varphi_2 = \frac{\pi}{2}\right) = 15{,}00 - 17{,}536\sin^2\varphi\cos^2\varphi.$$

Man erhält dann ein Minimum $T = 10{,}616$ für $\varphi = 45^0$. Liegt die Schmalseite im Hauptschnitt, so ist $\varphi_2 = \frac{\pi}{2} + \varphi$, $\varphi_1 = \frac{\pi}{2}$ also

$$T\left(\varphi_1 = \frac{\pi}{2}\right) = 15{,}00 - 3{,}675\sin^2\varphi.$$

Hier liegt das Minimum $T = 11{,}325$ bei $\varphi = \frac{\pi}{2}$.

Digitized by Google

Auch der Fehler des Drillungscoëfficienten, der durch fehlerhafte Orientirung der Stäbchen entsteht, ist hiernach zweiter Ordnung.

Die obigen Werthe der Determinantenverhältnisse $s_{kk}$ bestimmen nach dem früher Gesagten die Grössen jeder Art von elastischer Deformation bei gegebenen Kräften auf sehr einfache Weise.

Bei allseitig gleichem Druck $p$ findet eine Compression parallel der Hauptaxe statt, welche nach Formel (16) gegeben ist durch:

$$z_z = -pA_0, \qquad A_0 = 2s_{13} + s_{33},$$

normal dazu

$$x_x = y_y = -pA_{90}, \qquad A_{90} = s_{11} + s_{12} + s_{13};$$

dazu eine cubische Compression:

$$\delta = -p(A_0 + 2A_{90}) = -pM.$$

Nach den obigen Werthen ist:

$$A_0 = 2{,}947 \cdot 10^{-8}, \quad A_0 = 2{,}144 \cdot 10^{-8}, \quad M = 7{,}255 \cdot 10^{-8}.$$

M ist das Maass der cubischen Compressibilität; für Wasser findet sich dasselbe in unsern Einheiten (Gramm und Quadratmillimeter) rund $5.10^{-6}$; der Werth für Beryll ist hiervon nur der 70. Theil.

Die Winkeländerung, die zwei Ebenen innerhalb des Krystalles durch allseitig gleichen Druck erleiden, ist nach (19) gemessen durch die Constante:

$$B = s_{33} + s_{13} - s_{11} - s_{12};$$

ihr Werth ist für Beryll $B = 0{,}796 \cdot 10^{-8}$. Misst man den Druck in Atmosphären, so wird $(B) = 8{,}22 \cdot 10^{-8}$. Bildeten die Ebenen ursprünglich einen rechten Winkel, so ist die bei einem Druck von 100 Atmosphären unter günstigsten Umständen eintretende Winkeländerung $8{,}22 \cdot 10^{-6}$, d. h. immer noch nicht zwei Bogensecunden. Es ergiebt sich hieraus, dass Beobachtungen dieser Winkeländerung, um eine Gleichung für die Elasticitätsconstanten zu erhalten, bei Beryll fast unmöglich wären und somit auch bei andern Substanzen desselben Systems nicht sehr aussichtsvoll sind.

Die thermischen lineären Ausdehnungscoëfficienten (pro $1^0$ C.) des Beryll (Smaragd) sind nach Fizeau:

$$a_0 = -1{,}06 \cdot 10^{-6} \qquad a_2 = +1{,}37 \cdot 10^{-8}.$$

Digitized by Google

Setzt man diese Werthe mit denen der $s_{hk}$ in die Gleichungen (23) ein, so erhält man:

$$-1{,}06 = -q_1 \,.\, 0{,}0167 + q_0\, 0{,}0462$$
$$+1{,}37 = \quad q_1 \,.\, 0{,}0299 - q_0\, 0{,}00836$$

und hieraus:

$$q_0 = -7{,}10 \qquad q_1 = +43{,}9.$$

Dieses Resultat, welches parallel der Axe keine Wärme-Abstossung, sondern eine Wärme-Anziehung ergiebt, ist im hohen Grade überraschend und folgt keineswegs mit Nothwendigkeit aus der parallel der Axe stattfindenden Zusammenziehung bei einer Erwärmung, denn bei anderen Werthen der Elasticitätsconstanten würde das entgegengesetzte eintreten können.

Schliesslich sind noch nach den Formeln (14) die Elasticitätsconstanten des Beryll wirklich zu berechnen; die Rechnung ergiebt:

$$c_{11} = 0{,}2746 \,.\, 10{+}8, \quad c_{12} = 0{,}0980 \,.\, 10{+}8, \quad c_{13} = 0{,}0674 \,.\, 10{+}8,$$
$$c_{33} = 0{,}2409 \,.\, 10{+}8, \quad c_{44} = 0{,}0666 \,.\, 10{+}8.$$

Diese Werthe zeigen, dass diejenigen Relationen, welche aus der Poisson'schen Theorie sich unter der Voraussetzung ergeben, dass die Molekularwirkung nach allen Richtungen die gleiche ist, für Beryll nahezu erfüllt sind. Es ist $c_{13}$ so genau $= c_{44}$, dass man eine strenge Gleichheit annehmen kann; statt $c_{11} = 3 \,.\, c_{12}$ findet sich $c_{11} = 2{,}8 \,.\, c_{12}$, also immerhin eine bemerkenswerthe Annäherung an das theoretische Verhältniss. Man darf demnach den Schluss ziehen, dass bei Beryll die Polarität der Moleküle nur schwach ist und man eine bedeutende Annäherung an die Wirklichkeit erhält, wenn man sie völlig ignorirt.

Es ist von Interesse zu untersuchen, wie sich die Werthe der Constanten ergeben, wenn man diese Poisson'schen Relationen als streng gültig ansieht. Die demgemäss geänderten Werthe $s$ und $c$ seien durch den obern Index $'$ unterschieden. Die Bedingungen:

$$c'_{11} = 3 \,.\, c'_{12} \qquad c'_{13} = c'_{44}$$

drücken sich in den Grössen $s'_{hk}$ aus:

$$0 = s'_{33}\,(s'_{11} + s'_{12}) + s'_{13}\,(s'_{44} - 2\,s'_{13})$$
$$0 = 4\,s'^{2}_{13} - (s'_{11} + 3\,s'_{12})\,s'_{33},$$

Digitized by Google

oder auch indem man aus beiden durch Elimination von $s'_{11}$ eine neue bildet:

$$\text{(24)} \quad \left| \begin{array}{l} s'_{44} = \dfrac{2\,s'_{12}\,s'_{33}}{s'_{13}} - 2\,s'_{13} \\ s'_{11} = \dfrac{4\,s'^{2}_{13}}{s'_{33}} - 3\,s'_{12}. \end{array} \right.$$

Bezeichnet man dann die direct durch die Beobachtung bestimmten Werthe wie bisher mit $s_{hk}$, so erhält man zur Bestimmung der drei Unbekannten $s'_{12}$, $s'_{13}$, $s'_{33}$ die fünf Gleichungen:

$$\begin{array}{l} s_{11} = \dfrac{4\,s'^{2}_{13}}{s'_{33}} - 3\,s'_{12} \\ s_{12} = s'_{12} \\ s_{13} = s'_{13} \\ s_{33} = s'_{33} \\ s_{44} = \dfrac{2\,s'_{12}\,s'_{33}}{s'_{13}} - 2\,s'_{13} \end{array}$$

Dieselben sind durch Einführung der Näherungswerthe:

$$s'_{12} = s_{12} + \delta_{12} \qquad s'_{13} = s_{13} + \delta_{13} \qquad s'_{33} = s_{33} + \delta_{33}$$

lineär zu machen und lauten dann:

$$\begin{array}{l} s_{11} - 4\dfrac{s^2_{13}}{s_{33}} + 3\,s_{12} = -3\,\delta_{12} + 8\dfrac{s_{13}}{s_{33}}\,\delta_{13} - 4\dfrac{s^2_{13}}{s^2_{33}}\,\delta_{33} \\ s_{44} - 2\dfrac{s_{12}\,s_{33}}{s_{13}} + 2\,s_{13} = 2\dfrac{s_{33}}{s_{13}}\,\delta_{12} - 2\left(1 + \dfrac{s_{12}\,s_{33}}{s_{13}}\right)\delta_{13} + 2\dfrac{s_{12}}{s_{13}}\,\delta_{33} \\ 0 = \delta_{12} \\ 0 = \delta_{13} \\ 0 = \delta_{33}. \end{array}$$

Die Auflösung ergiebt nach der Methode der kleinsten Quadrate:

$$\delta_{12} = +0{,}092, \qquad \delta_{13} = -0{,}025, \qquad \delta_{33} = -0{,}017,$$

und hiernach, sowie nach den Formeln (24) die folgenden Werthe der $s'_{hk}$:

$$s'_{11} = 4{,}382,\ s'_{12} = -1{,}246,\ s'_{13} = -0{,}861,\ s'_{33} = +4{,}602,\ s'_{44} = +15{,}042.$$

Stellt man hierzu die direct beobachteten Werthe, ferner ihre wahrscheinlichen Fehler $\Delta_{hk}$ und die Abweichungen $s'_{hk} - s_{hk} = \delta_{hk}$, so erhält man das System:

$$\begin{array}{l} s_{11} = \ \ 4{,}325,\ s_{12} = -1{,}338,\ s_{13} = -0{,}836,\ s_{33} = +4{,}619,\ s_{44} = +15{,}00 \\ \Delta_{11} = \pm 0{,}012,\ \Delta_{12} = \pm 0{,}029,\ \Delta_{13} = \pm 0{,}043,\ \Delta_{33} = \pm 0{,}009,\ \Delta_{44} = \pm 0{,}036 \\ \delta_{11} = +0{,}057,\ \delta_{12} = +0{,}092,\ \delta_{13} = -0{,}025,\ \delta_{33} = -0{,}017,\ \delta_{44} = +0{,}042. \end{array}$$

Dasselbe zeigt, dass die Abweichungen $\delta$ zweimal erheblich den wahrscheinlichen Fehler überschreiten, namentlich ist $\delta_{12}$

Digitized by Google

sehr bedeutend. Daher ist es als unwahrscheinlich zu bezeichnen, dass die Beryllmoleküle streng keine Polarität besitzen; — ein Resultat, das ja an sich plausibel ist, da ohne Polarität der Process des Aufbaus eines Krystalls nicht wohl zu erklären ist.

Immerhin ist die nahe Übereinstimmung mit den theoretischen Resultaten dieser Annahme so merkwürdig, dass es lohnt, auch die Werthe der Constanten $c'_{hk}$ zu bestimmen, wie sie sich aus diesen $s'_{hk}$ nach (14) ergeben. Man erhält:

$$c'_{11} = 0{,}2666 \,.\, 10{+}8, \quad c'_{33} = 0{,}2422 \,.\, 10{+}8, \quad c'_{44} = 0{,}0665 \,.\, 10{+}8$$
$$c'_{12} = \tfrac{1}{3} c'_{11} = 0{,}0889 \,.\, 10{+}8 \qquad c'_{13} = c'_{44} = 0{,}06651 \,.\, 10{+}8.$$

Dagegen fanden sich ohne Voraussetzung der Poisson'schen Resultate die Werthe:

$$c_{11} = 0{,}2746 \,.\, 10{+}8, \quad c_{33} = 0{,}2409 \,.\, 10{+}8, \quad c_{44} = 0{,}0666 \,.\, 10{+}8$$
$$c_{12} = 0{,}0980 \,.\, 10{+}8 \qquad c_{13} = 0{,}0674 \,.\, 10{+}8.$$

Diese Zusammenstellung zeigt die grosse Empfindlichkeit der Constanten $c_{hk}$ gegenüber den Änderungen der grössern $s_{hk}$, welche ihre Bestimmung aus Beobachtungen überhaupt unsicher macht. Indess ist dies für die Anwendungen ohne Belang, da für diese stets die genauer zu bestimmenden $s_{hk}$ benutzt werden, auch beurtheilt sich die Gültigkeit der Relationen (12) ebenso gut an diesen, wie an den eigentlichen Elasticitätsconstanten.

Anmerkung. Um zu entscheiden, ob die Stäbchen der Gattung (90°), welche bei der Torsion so auffällig leicht zerbrachen, sich bei Biegungen ähnlich verhalten, habe ich Herrn Dr. Hennig ersucht, einige kleinere Stücke bis zum Zerbrechen allmählig zu belasten. Die Beobachtungen ergaben, wie zu erwarten, wenig übereinstimmende Resultate. Aus den am regelmässigsten verlaufenen Versuchen liess sich schliessen, dass die grössten Belastungen, welche ein Stäbchen von der Länge, Breite und Dicke 1 mm. zu tragen vermag, für die Gattungen

| | (0°) | (45°) | (90°) |
|---|---|---|---|
| gleich | 9900 g | 7800 g | 8700 g |

sind. Die Dilatationen der am meisten gespannten Längsfaser sind dabei resp.

0,00068 0,00064 0,00056.

Digitized by Google

Die Unterschiede sind also nicht erheblich. Für Glas ist der letztere Werth = 0,0007, also von der gleichen Ordnung, obgleich der Elasticitätscoëfficient dafür nur etwa den dritten Theil des für Beryll gültigen beträgt.

## II. Theil. Beobachtungen am Bergkrystall.

### 1. Formeln für das rhomboëdrische System.

Wir definiren die Elasticitäts-Constanten $c_{hk}$ für das rhomboëdrische System durch die folgenden Formeln, bei welchen vorausgesetzt ist, dass die $Z$-Axe die krystallographische Hauptaxe, die $YZ$-Ebene die krystallographische Symmetrie-Ebene der Form ist; die $+Y$-Axe trete aus einer der Rhomboëderflächen $+R$ aus, welche um die $+Z$-Axe herum liegen.

$$
\begin{aligned}
-X_x &= c_{11}x_x + c_{12}y_y + c_{13}z_z + c_{14}y_z & -Y_z &= c_{14}(x_x - y_y) + c_{44}y_z \\
-Y_y &= c_{12}x_x + c_{11}y_y + c_{13}z_z - c_{14}y_z & -Z_x &= c_{44}z_x + c_{14}x_y \\
-Z_z &= c_{13}x_x + c_{13}y_y + c_{33}z_z & -X_y &= \frac{c_{11}-c_{12}}{2}x_y + c_{14}z_x
\end{aligned}
\tag{25}
$$

Dabei sei wieder gesetzt die Determinante dieser Coëfficienten:

$$
\begin{vmatrix}
c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & 0 & 0 \\
c_{12} & c_{11} & c_{13} & -c_{14} & 0 & 0 \\
c_{13} & c_{13} & c_{33} & 0 & 0 & 0 \\
c_{14} & -c_{14} & 0 & c_{44} & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} & c_{14} \\
0 & 0 & 0 & 0 & c_{14} & \frac{c_{11}-c_{12}}{2}
\end{vmatrix} = S
\tag{26}
$$

und hierin der Coëfficient des $h$ten Elementes der $k$ten Colonne (oder umgekehrt) gleich $S_{hk}$.

Es gelten dann die Relationen:

$$
\begin{gathered}
S_{11} = S_{22},\ S_{13} = S_{23},\ S_{44} = S_{55},\ S_{66} = 2(S_{11} - S_{12}) \\
S_{14} = -S_{24} = \tfrac{1}{2}S_{56};
\end{gathered}
\tag{27}
$$

ausser den hierin enthaltenen $S_{hk}$ ist nur noch $S_{33}$ von Null verschieden; wir behalten als von einander unabhängig bei:

$$S_{11},\ S_{12},\ S_{13},\ S_{14},\ S_{33},\ S_{44}.$$

In diesen Grössen giebt sich der Coëfficient der lineären Dilatation E in einer durch die Richtungscosinus $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ gegen die Coordinatenaxen bestimmten Richtung durch:

$$SE = S_{11}(1-\gamma^2)^2 + S_{33}\gamma^4 + (S_{44} + 2S_{13})\gamma^2(1-\gamma^2) + 2S_{14}\beta\gamma(3\alpha^2 - \beta^2).$$
(28)

Digitized by Google

Durch dies E oder das reciproke $E = 1/E$ bestimmt sich die Biegung eines rechteckigen Prismas von den Dimensionen $L$, $B$, $D$ durch die Wirkung einer in der Mitte angreifenden Belastung $P$ nach der bekannten Formel:

$$\eta = \frac{PL^3}{4EBD^3} = E\frac{PL^3}{4BD^3}. \tag{29}$$

Wie eine Abweichung von der streng prismatischen Gestalt in Rechnung zu ziehen, ist p. 70 erörtert.

Hinsichtlich der Drillung liegen beim rhomboëdrischen System die Verhältnisse complicirter als bei dem hexagonalen, weil es hier keinerlei Orientirungen der Prismen giebt, bei welchen alle drei Kanten in die Richtung von krystallographischen Symmetrieaxen fallen.

Der allgemeinste Werth des Drehungswinkels eines rechteckigen Prismas ist durch die Formel gegeben:

$$\tau = \frac{3NLT\left[1 + \frac{\Theta''^2}{ET}\left(\frac{D^2}{B^2} + \frac{D^3 f}{B^3}\right) + \frac{\Theta'^2}{ET}\frac{Df}{B}\right]}{D^3 B\left(1 + \frac{D}{B}f\right)}. \tag{30}$$

Hierin sind T, $\Theta'$, $\Theta''$ Abkürzungen derselben Art wie E oben; sie haben die folgenden Werthe, in denen $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, $\alpha_1$, $\beta_1$, $\gamma_1$, $\alpha_2$, $\beta_2$, $\gamma_2$ die Richtungscosinus der Längs-, Breiten- und Dickenrichtung bezeichnen:

$$\begin{aligned}
ST &= S_{44} + (2(S_{11} - S_{12}) - S_{44})\gamma_2^2 + 4(S_{11} + S_{33} - S_{44} - 2S_{13})\gamma^2\gamma_1^2 \\
&\quad + 4S_{14}[(\gamma\beta_1 + \beta\gamma_1)(3\alpha\alpha_1 - \beta\beta_1) - \beta_2\gamma_2] \\
S\Theta' &= (S_{44} + 2(S_{13} - S_{11}))\gamma\gamma_1 + 2(S_{11} + S_{33} - S_{44} - 2S_{13})\gamma^2\gamma_1 \\
&\quad + S_{14}[(\beta_1\gamma + \gamma_1\beta)(3\alpha^2 - \beta^2) + 2\beta\gamma(3\alpha_1\alpha - \beta_1\beta)] \\
S\Theta'' &= (S_{44} + 2(S_{13} - S_{11}))\gamma\gamma_2 + 2(S_{11} + S_{33} - S_{44} - 2S_{13})\gamma^2\gamma_2 \\
&\quad + S_{14}[(\beta_2\gamma + \gamma_2\beta)(3\alpha^2 - \beta^2) + 2\beta\gamma(3\alpha_2\alpha - \beta^2\beta)] \\
SE &= S_{11}(1-\gamma^2)^2 + S_{33}\gamma^4 + (S_{44} + 2S_{13})\gamma^2(1-\gamma^2) + 2S_{14}\beta\gamma(3\alpha^2 - \beta^2)
\end{aligned} \tag{31}$$

Die Grösse $f$ ist eine Function des Verhältnisses $B/D$, die für Werthe desselben, welche 3 übersteigen, als constant angesehen und durch die Combination von Beobachtungen eliminirt werden kann, falls sie sich nicht theoretisch bestimmen lässt.

Die Orientirungen der Prismen, für welche $\Theta' = \Theta'' = 0$ ist, sind für die Beobachtung am geeignetsten, einmal weil sie nach der Theorie eine Drillung ohne Biegung gestatten, was in technischer Hinsicht erwünscht ist, andererseits, weil für sie die obige Formel sich sehr einfach auf:

Digitized by Google

(32) $$\tau = \frac{3NLT}{D^3 B\left(1+\frac{D}{B}f\right)}$$

reducirt.

Diese ganz allgemeinen Formeln (28) und (31) sollen nun für die speciellen Orientirungen der verschiedenen für die Beobachtung geeigneten Prismen angewandt werden.

Fällt die Längsrichtung in die krystallographische Hauptaxe — Gattung $(0)^0$ — so wird $\gamma = 1$, $\gamma_1 = \gamma_2 = \alpha = \beta = 0$ sein, daher:

(33) $$S\mathrm{E}_0 = S_{33} \quad S\mathrm{T}_0 = S_{44} \quad S\Theta'_0 = 0 \quad S\Theta''_0 = 0.$$

Es gilt also für die Torsion die einfachere Formel (32); die Function $f$ muss hier durch die Beobachtung bestimmt werden. Die Lage der Querdimensionen kann einzig auf ihren Werth influiren, im übrigen ist sie gleichgültig.

Liegt die Längsrichtung in der Symmetrieebene $YZ$ im ersten oder dritten Quadranten und schliesst sie mit der Hauptaxe den Winkel $45^0$ ein und fällt die grössere Querdimension ($B$) in die $X$-(Symmetrie)-Axe, so soll die Gattung Prismen mit $(+45^0)$ bezeichnet werden. Hier ist $\gamma = \beta = 1/\sqrt{2}$, $\pm\gamma_2 = \mp\beta_2 = 1/\sqrt{2}$, $\alpha_1 = 1$, $\alpha = \alpha_2 = \beta_1 = \gamma_1 = 0$, also:

(34) $$\begin{gathered} S\mathrm{E}_{+45} = \tfrac{1}{4}(S_{11} + S_{33} + S_{44} + 2(S_{13} - S_{14})) \\ S\Theta' = 0 \quad S\Theta'' = \pm(S_{33} - S_{11} + S_{14}) \\ S\mathrm{T}_{+45} = \tfrac{1}{2}(S_{44} + 2(S_{11} - S_{12}) + 4S_{14}). \end{gathered}$$

Dass $\Theta'$ von Null verschieden ist, lässt die Formel für die Torsion unbequem complicirt sein; man wird diese Gattung Prismen daher nicht gern zu Drillungsbeobachtungen benutzen.

Die Gattung $(-45^0)$ unterscheidet sich von der vorigen nur dadurch, dass die Längsrichtung im zweiten Quadranten liegt, also $\gamma = -\beta = 1/\sqrt{2}$ ist. Hier gilt:

(35) $$\begin{gathered} S\mathrm{E}_{-45} = \tfrac{1}{4}(S_{11} + S_{33} + S_{44} + 2(S_{13} + S_{14})) \\ S\mathrm{T}_{-45} = \tfrac{1}{2}(S_{44} + 2(S_{11} - S_{12}) - 4S_{14}) \end{gathered}$$

Liegt die Längsrichtung des Prismas normal zur Hauptaxe, d. h. in der Ebene der Nebenaxen, so hat man $\gamma = 0$, also für die Gattung $(90^0)$:

(36) $$S\mathrm{E}_{90} = S_{11}$$

wie auch immer die Orientirung im Übrigen sei. Dies Resultat ist analog dem bei hexagonalen Krystallen gefundenen. Ferner ist unter der gleichen Voraussetzung:

Digitized by Google

$S\mathrm{T}_{90} = S_{44} + (2(S_{11} - S_{12}) - S_{44})\gamma_2^2 + 4S_{14}[\beta\gamma_1(3\alpha\alpha_1 - \beta\beta_1) - \beta_2\gamma_2]$
$S\Theta'_{90} = S_{14}\gamma_1\beta(3\alpha^2 - \beta^2) \qquad S\Theta''_{90} = S_{14}\gamma_2\beta(3\alpha^2 - \beta^2).$

Unterscheiden wir wie beim Beryll zwei Gattungen ($90^0$ *A*) und ($90^0$ *B*), je nachdem die kleinere oder grössere Querdimension in die Hauptaxe fällt, d. h. $\gamma_2$ oder $\gamma_1 = 1$ ist, so erhält man für die Gattung ($90^0$ *A*):

(37) $S\mathrm{T}_{90A} = 2(S_{11} - S_{12}), \quad S\Theta'_{90A} = 0, \quad S\Theta''_{90A} = S_{14}\beta(3\alpha^2 - \beta^2)$

hingegen für die Gattung ($90^0$ *B*):

(38) $S\mathrm{T}_{90B} = S_{44}, \quad S\Theta'_{90B} = S_{14}\beta(3\alpha^2 - \beta^2), \quad S\Theta''_{90B} = 0.$

Es sind hiernach für die beiden Gattungen die Torsionscoëfficienten rings um die Hauptaxe her constant, nicht aber die gleichen Bedingungen entsprechenden Torsionswinkel, denn in Formel (30) variiren die $\Theta'$ und $\Theta''$ mit $\alpha$ und $\beta$, auch ist $f$ wechselnd. Da aber diese Ausdrücke in Gleichung (30) sämmtlich in Potenzen von $D/B$ multiplicirt auftreten, so ist eine starke Abhängigkeit der Torsion von der Lage der Prismenaxe in der Ebene der Nebenaxen nicht zu erwarten; besonders findet dies statt bei der Gattung ($90^0$ *A*), da für diese $\Theta' = 0$ ist, welches nach Formel (30) in das grösste variable Glied multiplicirt ist.

Die Orientirung der Prismenaxe normal zu der krystallographischen Symmetrieebene hat die besondere Wichtigkeit, dass für sie die bisher als unbekannt benutzte Function $f$ sich mit grosser Annäherung bestimmen lässt.

Die Theorie ergiebt für die beiden Prismengattungen ($90^0$ *A* I) und ($90^0$ *B* I), welche resp. die Breitseiten oder die Schmalseiten senkrecht zur Hauptaxe haben, das Resultat:

(39)
$$f_{90AI} = -\frac{2}{\pi}\frac{\sqrt{2S_{44}(S_{11} - S_{12}) - 4S_{14}^2}}{2(S_{11} - S_{12})}\left(1 + 0{,}510\frac{S_{14}^2}{S_{44}\frac{(S_{11} - S_{12})}{2} - S_{14}^2}\right).$$

$$f_{90BI} = -\frac{2}{\pi}\frac{\sqrt{2S_{44}(S_{11} - S_{12}) - 4S_{14}^2}}{S_{44}}\left(1 + 0{,}510\frac{S_{14}^2}{S_{44}\frac{(S_{11} - S_{12})}{2} - S_{14}^2}\right).$$

Sind aus den Beobachtungen nach den vorstehenden Formeln die sechs unabhängigen Determinantenverhältnisse

$S_{11}/S = s_{11}$, $S_{12}/S = s_{12}$, $S_{13}/S = s_{13}$, $S_{14}/S = s_{14}$, $S_{33}/S = s_{33}$, $S_{44}/S = s_{44}$

berechnet, so bestimmen sich aus ihnen die sechs Elasticitätsconstanten $c_{11}$, $c_{12}$, $c_{13}$, $c_{14}$, $c_{33}$, $c_{44}$ durch die folgenden Gleichungen:

Digitized by Google

(40)
$$\begin{aligned}
&\text{a)}\ c_{11}s_{11} + c_{12}s_{12} + c_{13}s_{13} + c_{14}s_{14} = 1\\
&\text{b)}\ c_{12}s_{11} + c_{11}s_{12} + c_{13}s_{13} - c_{14}s_{14} = 0\\
&\text{c)}\ 2c_{13}s_{13} + c_{33}s_{33} = 1\\
&\text{d)}\ c_{13}(s_{11} + s_{12}) + c_{33}s_{13} = 0\\
&\text{e)}\ 2c_{14}s_{14} + c_{44}s_{44} = 1\\
&\text{f)}\ c_{14}(s_{11} - s_{12}) + c_{44}s_{14} = 0
\end{aligned}$$

Aus c) und d) folgt:

(41)
$$c_{13} = \frac{-s_{13}}{s_{33}(s_{11}+s_{12}) - 2s_{13}^2},\quad c_{33} = \frac{s_{11}+s_{12}}{s_{33}(s_{11}+s_{12}) - 2s_{13}^2}$$

aus e) und f):

$$c_{14} = \frac{-s_{14}}{s_{44}(s_{11}-s_{12}) - 2s_{14}^2},\quad c_{44} = \frac{s_{11}-s_{12}}{s_{44}(s_{11}-s_{12}) - 2s_{14}^2}$$

aus a) und b):

$$c_{11}+c_{12} = \frac{1-2c_{13}s_{13}}{s_{11}+s_{12}},\qquad c_{11}-c_{12} = \frac{1-2c_{14}s_{14}}{s_{11}-s_{12}}$$

oder:

$$c_{11}+c_{12} = \frac{s_{33}}{s_{33}(s_{11}+s_{12}) - 2s_{13}^2},\quad c_{11}-c_{12} = \frac{s_{44}}{s_{44}(s_{11}-s_{12}) - 2s_{14}^2}.$$

Unter diesen Constanten bestehen nach der Poisson'schen Theorie, wenn vorausgesetzt wird, dass die Moleküle der Substanz keine Polarität besitzen, dieselben beiden Relationen, die für das hexagonale System gelten, nämlich:

(42)
$$c_{13} = c_{44} \qquad c_{11} = 3c_{12}.$$

Aus den Verhältnissen $s_{hk}$ bestimmt sich wiederum die Deformation eines rhomboëdrischen Krystalles bei andern als den oben vorausgesetzten Umständen.

Ist ein beliebig gestaltetes Stück einem allseitig gleichen Druck ausgesetzt, so folgt genau, wie für das hexagonale System gefunden:

(43)
$$\begin{aligned}
x_x &= -p(s_{11}+s_{12}+s_{13}) = y_y\\
z_z &= -p(2s_{13}+s_{33})\\
y_z &= z_x = x_y = 0.
\end{aligned}$$

Die Compressions-Coëfficienten parallel und normal zur Hauptaxe werden daher auch:

(44)
$$A_0 = 2s_{13} + s_{33} \qquad A_{90} = s_{11} + s_{12} + s_{13}$$

der cubische Compressions-Coëfficient:

$$M = s_{33} + 2(s_{11}+s_{12}) + 4s_{13}.$$

Ebenso folgt für die Änderung des Winkels $\chi$ zwischen zwei Ebenen, deren Normale durch die Richtungscosinus $\alpha_1$, $\beta_1$, $\gamma_1$ und $\alpha_2$, $\beta_2$, $\gamma_2$ gegen die Krystallaxen bestimmt sind, dieselbe Formel:

Digitized by Google

(45) $\vartheta\chi \sin\chi = -p\,(s_{13} + s_{33} - s_{11} - s_{12})\,(2\gamma_1\gamma_2 - (\gamma_1^2 + \gamma_2^2)\cos\chi)$

mit dem charakteristischen Coëfficienten

$$B = s_{13} + s_{33} - s_{11} - s_{12}.$$

Auch bei einseitigem Druck auf die Basis oder Mantelfläche verhält sich ein Cylinder aus einem rhomboëdrischen Krystall einem hexagonalen gleich, falls seine Axe in die krystallographische Hauptaxe fällt, nicht hingegen bei anderer Orientirung. Man kann daher für rhomboëdrische Krystalle aus den thermischen Ausdehnungscoëfficienten $a_0$ und $a_1$ parallel und normal zur Hauptaxe ebenfalls die Grösse der Wärmeabstossung, gemessen durch $q_0$ und $q_1$, bestimmen wie für hexagonale durch die Formeln:

(46)
$$a_0 = q_1\, 2\, s_{13} + q_0\, s_{33}$$
$$a_1 = q_1\,(s_{11} + s_{12}) + q_0\, s_{13}.$$

### 2. Beobachtungen.

Die Formen des Quarzes gehören der trapezoëdrischen Tetratoëdrie an. Für dieselben ist die Existenz einer zweiseitigen dreizähligen Symmetrieaxe charakteristisch, alle übrigen Eigenschaften folgen aus dieser. Demgemäss gewinnt das elastische Potential dieselbe Form, wie für das rhomboëdrische holoëdrische System, und sind die im Vorstehenden abgeleiteten Formeln anzuwenden. Dass die elastischen Verhältnisse des Bergkrystalles die der rhomboëdrischen Krystallform entsprechende Unsymmetrie zeigen, ist bereits durch die Beobachtungen F. Savart's* über die Klangfiguren auf Kreisscheiben, die aus diesem Material geschnitten waren, gezeigt worden.

Für meine Beobachtungen standen mir zunächst Stäbchen zur Verfügung, welche vor Jahren von Dr. Steeg und Reuter in Homburg v. d. H. gefertigt und mir nun von dem Herrn Besteller überlassen worden waren. Diese sind im Folgenden mit No. 1—14 bezeichnet; von ihnen gehört

| | | | |
|---|---|---|---|
| No. | 5—8 | der Gattung | ( 0°) an, |
| No. | 1—3 | „ „ | (90° A I) |
| No. | 9—11 | „ „ | (90° A II) |
| No. | 12—14 | „ „ | (45°). |

No. 4 fehlt. Hierbei bezeichnet, wie oben gesagt, die Anzahl Grade den Neigungswinkel der Längsrichtung gegen die Kry-

* F. Savart, Pogg. Ann. Bd. XVI. p. 206. 1829.

Digitized by Google

stallaxe, die Bezeichnung A deutet an, dass die Breitenrichtung normal zur Krystallaxe liegt, der Zusatz I oder II, ob die Längsrichtung senkrecht zu einer Symmetrieebene des rhomboëdrischen Systems oder aber ihr parallel ist. Bei der letzten Gattung (45°) war nicht angegeben, in welcher Meridianebene die Längsrichtung orientirt war; die Beobachtung hat gezeigt, dass dies entsprechend der Bezeichnung (— 45°) stattfand, d. h. die Längsrichtung nahe senkrecht zu einer Rhomboëderfläche — $R$ gestanden hat.

Dieses System Stäbchen genügte noch nicht zur Bestimmung aller Constanten und zur Prüfung der im Vorstehenden entwickelten Formeln. Ich habe daher durch Dr. Steeg und Reuter aus einem schönen grossen Krystall noch die folgenden 14 Stäbchen herstellen lassen:

No. 15—17 zur Gattung (90° AI)
No. 18—20 „ „ (90° BI)
No. 21—24 „ „ (— 45°)
No. 25—28 „ „ (+ 45°).

Diese Stäbchen waren vorzüglich geschliffen und polirt, aber leider nicht sehr genau orientirt, was die Beobachtungen und Berechnungen unbequem complicirt hat. Der Krystall hatte nämlich nicht genau parallele Säulenflächen und die optische Untersuchung zeigte, dass dem entsprechend die optische Axe im Innern des Krystalls von Stelle zu Stelle ihre Richtung ein wenig änderte. Eine grössere Zahl von Stäbchen ist dann, um die theoretischen Resultate des vorhergehenden Abschnittes anwenden und prüfen zu können, von Voigt und Hochgesang in Göttingen auf geringere Dicke abgeschliffen worden; in dieser zweiten Gestalt sind die Stäbchen durch den oberen Index neben ihrer ursprünglichen Bezeichnung (z. B. also durch 0° No. 5′) unterschieden. Ihre Politur lässt theilweise zu wünschen übrig.

Die optische Untersuchung ergab vollständige Gleichartigkeit der Substanz, wie dies sich ja bei den Krystallen aus brasilianischem Geschiebe — und solche boten das Material — in ausgezeichneter Weise zu finden pflegt. Die Stäbchen No. 15 bis 28 sind aus einem linksdrehenden Krystall geschnitten; ebenso zeigten linke Drehung No. 1—3, 9—14; es ist daher höchst wahrscheinlich, dass auch No. 5—8, die sich in dieser

Digitized by Google

Hinsicht nicht wohl prüfen liessen, da sie mit der Längsrichtung parallel der Axe liegen, die gleiche Eigenschaft besitzen, obgleich nach einer überkommenen Notiz No. 5, 6 und No. 7, 8 aus zwei verschiedenen Krystallen geschnitten sind; der Fabrikant dürfte schwerlich um zweier Stäbchen willen einen neuen grossen Krystall zerschnitten haben.

Die Bestimmung der Querdimensionen ist im Folgenden in derselben Weise wie oben für die Beryllstäbchen mitgetheilt.

## Dimensionen.

No. 5. $D = 700 + \delta$

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 53,8 | 63,8 | 72,8 | 81,9 | 93,2 | 103,1 | 103,9 |
| | 59,0 | 68,2 | 77,4 | 87,0 | 96,6 | 103,8 | 107,5 |
| | 56,2 | 66,0 | 75,7 | 86,2 | 94,2 | 103,7 | 107,2 |
| | 58,4 | 65,6 | 74,7 | 83,5 | 92,9 | 100,8 | 103,7 |
| Mittel | 56,8 | 65,9 | 75,2 | 84,6 | 94,2 | 102,8 | 105,6 |
| ber. | 55,9 | 66,5 | 76,3 | 85,2 | 93,4 | 100,7 | 107,2 |

$\delta_0 = 85{,}2,\ \delta_1 = 8{,}5,\ \delta_2 = -0{,}41.$

$B = 4600 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 85 | 70 | 58 | 52 | 60 | 79 | 102 |
| | 84 | 68 | 58 | 53 | 62 | 79 | 102 |
| Mittel | 85 | 69 | 58 | 52 | 61 | 79 | 102 |
| ber. | 86,5 | 67,1 | 56,5 | 54,7 | 61,7 | 77,5 | 102,5 |

$\beta_0 = 54{,}7,\ \beta_1 = 2{,}6,\ \beta_2 = +4{,}4.$

No. 6. $D = 700 + \delta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 66,0 | 72,9 | 77,3 | 83,7 | 92,6 | 100,0 | 105,5 |
| | 71,0 | 78,7 | 83,9 | 90,5 | 99,6 | 106,8 | 110,0 |
| | 72,0 | 81,2 | 86,4 | 91,8 | 100,6 | 107,8 | 113,5 |
| | 73,7 | 82,7 | 87,7 | 94,0 | 102,5 | 110,0 | 114,2 |
| Mittel | 70,7 | 78,9 | 83,8 | 90,0 | 98,8 | 106,2 | 110,8 |
| ber. | 70,9 | 77,7 | 84,5 | 91,3 | 98,1 | 104,9 | 111,7 |

$\delta_0 = 91{,}3,\ \delta_1 = 6{,}8,\ \delta_2 = 0.$

$B = 4700 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 35 | 35 | 31 | 31 | 32 | 37 | 41 |
| | 36 | 35 | 31 | 31 | 36 | 35 | 39 |
| Mittel | 36 | 35 | 31 | 31 | 34 | 36 | 40 |
| ber. | 36,3 | 33,4 | 31,9 | 31,8 | 33,1 | 35,8 | 39,9 |

$\beta_0 = 31{,}8,\ \beta_1 = 0{,}6,\ \beta_2 = 0{,}7.$

No. 7. $D = 700 + \delta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 90,0 | 96,0 | 103,9 | 111,7 | 120,0 | 127,7 | 133,8 |
| | 92,5 | 99,5 | 105,5 | 111,5 | 120,0 | 127,5 | 134,0 |
| | 85,0 | 96,4 | 102,8 | 110,7 | 119,6 | 130,5 | 137,5 |
| | 81,4 | 90,4 | 99,0 | 106,3 | 114,2 | 127,0 | 128,4 |
| Mittel | 87,2 | 95,6 | 102,8 | 110,0 | 118,4 | 128,2 | 133,4 |
| ber. | 87,3 | 95,2 | 103,1 | 110,9 | 118,7 | 126,4 | 134,1 |

$\delta_0 = 110{,}9,\ \delta_1 = 7{,}8,\ \delta_2 = -0{,}02.$

$B = 5100 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 29 | 23 | 21 | 22 | 26 | 36 | 44 |
| | 27 | 30 | 23 | 22 | 27 | 37 | 47 |
| Mittel | 28 | 26 | 22 | 22 | 27 | 36 | 46 |
| ber. | 29,1 | 23,9 | 21,9 | 23,1 | 27,5 | 35,1 | 45,9 |

$\beta_0 = 23{,}1,\ \beta_1 = 2{,}8,\ \beta_2 = +1{,}6.$

No. 8. $D = 700 + \delta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 97,0 | 99,8 | 103,0 | 106,0 | 110,7 | 115,3 | 119,7 |
| | 100,0 | 103,6 | 105,7 | 109,5 | 112,2 | 118,0 | 122,1 |
| | 99,5 | 104,0 | 105,0 | 109,0 | 114,0 | 120,1 | 125,3 |
| | 94,0 | 96,6 | 100,0 | 103,5 | 109,0 | 113,0 | 117,0 |
| Mittel | 97,8 | 101,0 | 103,4 | 107,0 | 111,5 | 116,6 | 121,0 |
| ber. | 97,9 | 100,5 | 103,7 | 107,3 | 111,5 | 116,1 | 121,3 |

$\delta_0 = 107{,}3,\ \delta_1 = 3{,}9,\ \delta_2 = +0{,}25.$

$B = 4600 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 97 | 79 | 63 | 62 | 70 | 80 | 93 |
| | 96 | 78 | 63 | 62 | 72 | 82 | 93 |
| Mittel | 97 | 78 | 63 | 62 | 71 | 81 | 93 |
| ber. | 97,5 | 78,2 | 67,3 | 63,6 | 67,5 | 79,0 | 98,1 |

$\beta_0 = 63{,}6,\ \beta_1 = 0{,}1,\ \beta_2 = 3{,}8.$



Digitized by Google

Die dünner geschliffenen Stäbchen sind sämmtlich nur auf dem für die Torsionsbeobachtungen allein in Betracht kommenden (mittleren) Stück — ca. 8 mm. von beiden Enden beginnend — beobachtet, da sie nur ausnahmsweise zur Biegung benutzt sind.

$0^0$ No. 5′. $D = 400 + \delta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 78,7 | 80,2 | 81,3 | 81,1 | 80,9 |
| | 78,4 | 80,1 | 81,6 | 82,2 | 81,9 |
| | 78,9 | 79,3 | 80,9 | 81,6 | 81,4 |
| | 79,6 | 81,2 | 82,3 | 82,8 | 82,0 |
| Mittel | 78,9 | 80,2 | 81,5 | 81,9 | 81,5 |

$B = 4600 + \beta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 85 | 62 | 50 | 57 | 74 |
| | 86 | 62 | 53 | 58 | 76 |
| Mittel | 86 | 62 | 57 | 58 | 75 |

$0^0$ No. 6′. $D = 400 + \delta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 61,3 | 59,2 | 59,9 | 64,0 | 72,2 |
| | 66,3 | 63,5 | 63,3 | 67,5 | 74,5 |
| | 66,4 | 64,0 | 64,2 | 68,5 | 74,8 |
| | 69,7 | 67,2 | 67,2 | 72,0 | 78,3 |
| Mittel | 65,9 | 63,5 | 63,7 | 68,0 | 74,9 |

$B = 4700 + \beta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 47,5 | 34,0 | 32,0 | 33,0 | 38,0 |
| | 46,5 | 33,5 | 31,0 | 33,5 | 38,0 |
| Mittel | 47,0 | 34,0 | 31,5 | 33,0 | 38,0 |

$0^0$ No. 7′. $D = 400 + \delta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 57,6 | 60,0 | 60,7 | 60,9 | 61,9 |
| | 64,2 | 66,2 | 67,2 | 68,0 | 68,9 |
| | 66,9 | 68,6 | 69,6 | 70,1 | 69,7 |
| | 72,4 | 73,9 | 75,2 | 76,1 | 75,3 |
| Mittel | 65,3 | 67,2 | 68,2 | 68,8 | 68,9 |

$B = 5100 + \beta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 41,0 | 25,5 | 21,0 | 23,0 | 32,0 |
| | 40,5 | 26,0 | 22,0 | 23,0 | 28,0 |
| Mittel | 41,0 | 26,0 | 21,5 | 23,0 | 30,0 |

$45^0$ No. 12. $D = 700 + \delta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 34,7 | 40,7 | 46,2 | 53,0 | 62,7 | 71,2 | 76,2 |
| | 54,4 | 62,2 | 67,0 | 73,2 | 83,2 | 91,7 | 99,7 |
| | 57,3 | 66,0 | 70,0 | 76,7 | 86,2 | 95,2 | 103,0 |
| | 79,0 | 84,5 | 89,5 | 95,8 | 105,8 | 115,8 | 120,8 |
| Mittel | 56,3 | 63,4 | 68,2 | 74,7 | 84,5 | 93,5 | 99,9 |
| ber. | 56,6 | 62,5 | 69,0 | 76,1 | 83,8 | 92,1 | 101,0 |

$\delta_0 = 76{,}1,\ \delta_1 = 7{,}4,\ \delta_2 = +0{,}3.$

$B = 5400 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 64 | 50 | 40 | 39 | 49 | 64 | 79 |
| | 72 | 49 | 38 | 39 | 48 | 66 | 79 |
| Mittel | 68 | 49 | 39 | 39 | 48 | 65 | 79 |
| ber. | 66,5 | 50,1 | 41,3 | 40,1 | 46,5 | 60,5 | 82,1 |

$\beta_0 = 40{,}1,\ \beta_1 = 2{,}6,\ \beta_2 = +3{,}8$

$45^0$ No. 13. $D = 700 + \delta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 98,4 | 106,7 | 112,8 | 119,8 | 125,8 | 133,3 | 139,6 |
| | 97,5 | 105,5 | 112,0 | 118,0 | 124,0 | 129,6 | 137,1 |
| | 95,4 | 103,7 | 109,6 | 117,0 | 124,2 | 131,6 | 137,1 |
| | 88,0 | 97,7 | 103,0 | 109,1 | 116,0 | 122,8 | 129,8 |
| Mittel | 94,6 | 103,4 | 109,4 | 116,0 | 122,5 | 129,3 | 135,8 |
| ber. | 95,3 | 102,4 | 109,4 | 116,2 | 122,8 | 129,2 | 135,5 |

$\delta_0 = 116{,}2,\ \delta_1 = 6{,}7,\ \delta_2 = -0{,}09.$

$B = 4500 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 17 | 4 | 0 | 2 | 12 | 25 | 44 |
| | 15 | 3 | −2 | 0 | 10 | 25 | 42 |
| Mittel | 16 | 4 | −1 | 1 | 11 | 25 | 43 |
| ber. | 14,2 | 3,2 | −1,2 | 1,0 | 9,8 | 25,2 | 47,2 |

$\beta_0 = 1{,}0,\ \beta_1 = 5{,}5,\ \beta_2 = 3{,}3.$

Digitized by Google

45° No. 14. $D = 800 + \delta$ $B = 4400 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 0,8 | 10,1 | 15,9 | 22,5 | 29,7 | 37,2 | 42,2 |
| | 1,7 | 10,0 | 16,6 | 22,6 | 29,7 | 37,0 | 42,3 |
| | 0,9 | 9,5 | 16,1 | 22,1 | 29,3 | 36,6 | 42,0 |
| | −0,7 | 7,1 | 15,3 | 20,5 | 28,3 | 35,0 | 40,7 |
| Mittel | 0,7 | 9,2 | 16,0 | 21,9 | 29,3 | 36,4 | 41,8 |
| ber. | 1,1 | 8,6 | 15,8 | 22,7 | 29,4 | 35,8 | 41,9 |

$\beta =$ 92 89 87 92 104 124 144
92 89 93 98 104 122 144
Mittel 92 89 90 95 104 123 144
ber. 93,7 88,7 89,1 94,9 106,1 122,7 144,7

$\delta_0 = 22{,}7,\ \delta_1 = 6{,}8,\ \delta_2 = -0{,}13.$ $\beta_0 = 94{,}9,\ \beta_1 = 8{,}5,\ \beta_2 = +2{,}7.$

−45° No. 21. $D = 800 + \delta$ $B = 5900 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 49,4 | 50,4 | 51,4 | 52,1 | 53,9 | 57,5 | 58,5 |
| | 49,6 | 51,0 | 52,2 | 53,2 | 54,9 | 58,0 | 59,3 |
| | 50,0 | 51,6 | 52,7 | 53,5 | 54,7 | 57,4 | 59,5 |
| | 50,0 | 52,4 | 52,6 | 53,6 | 54,9 | 58,6 | 59,0 |
| Mittel | 49,8 | 51,3 | 52,2 | 53,1 | 54,6 | 57,9 | 59,1 |
| ber. | 49,8 | 50,8 | 51,9 | 53,4 | 55,1 | 57,2 | 59,4 |

$\beta =$ 51,0 67,5 79,5 74,0 72,0 53,0 35,5
47,0 65,0 73,5 72,0 66,0 53,0 33,0
Mittel 49,0 66,0 76,5 73,5 69,0 53,0 34,0

$\delta_0 = 53{,}4,\ \delta_1 = 1{,}6,\ \delta_2 = 0{,}14.$

−45° No. 22. $D = 800 + \delta$ $B = 5900 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 40,1 | 40,6 | 41,6 | 43,1 | 45,8 | 48,8 | 54,6 |
| | 43,9 | 43,3 | 44,6 | 45,8 | 48,0 | 50,8 | 54,9 |
| | 43,5 | 44,9 | 44,8 | 46,8 | 49,6 | 52,4 | 56,6 |
| | 45,8 | 47,5 | 47,4 | 49,5 | 52,3 | 65,5 | 60,7 |
| Mittel | 43,3 | 44,1 | 44,6 | 46,3 | 48,9 | 51,9 | 56,7 |
| ber. | 43,5 | 43,6 | 44,6 | 46,3 | 48,8 | 52,2 | 56,5 |

$\beta =$ 58,5 67,0 72,5 72,0 66,0 53,5 35,0
50,0 68,0 71,5 71,0 65,0 53,5 33,5
Mittel 54,0 67,5 72,0 71,5 65,5 53,5 34,0

$\delta_0 = 46{,}3,\ \delta_1 = 2{,}2,\ \delta_2 = 0{,}41.$

−45° No. 23. $D = 800 + \delta$ $B = 5900 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 47,3 | 48,1 | 48,9 | 49,3 | 50,0 | 50,9 | 53,2 |
| | 47,3 | 48,3 | 49,1 | 49,8 | 50,8 | 51,7 | 54,0 |
| | 48,6 | 49,9 | 50,8 | 50,8 | 51,8 | 53,2 | 55,5 |
| | 47,9 | 48,1 | 49,3 | 49,9 | 50,8 | 52,5 | 54,8 |
| Mittel | 47,8 | 48,6 | 49,5 | 50,0 | 50,8 | 52,1 | 54,4 |
| ber. | 48,1 | 48,5 | 49,1 | 50,0 | 51,1 | 52,5 | 54,1 |

$\beta =$ 59,0 70,0 76,0 72,5 64,5 54,0 35,0
59,0 71,5 75,5 72,5 65,0 56,0 37,0
Mittel 59,0 71,0 76,0 72,5 65,0 55,0 36,0

$\delta_0 = 50{,}0,\ \delta_1 = 1{,}0,\ \delta_2 = 0{,}12.$

−45° No. 24. $D = 800 + \delta$ $B = 5900 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 43,2 | 43,7 | 44,8 | 45,3 | 47,3 | 50,3 | 53,3 |
| | 45,1 | 45,9 | 46,1 | 47,8 | 49,0 | 52,9 | 56,3 |
| | 44,8 | 45,1 | 46,0 | 49,2 | 52,0 | 54,8 | 58,3 |
| | 44,1 | 44,8 | 46,1 | 46,5 | 48,5 | 51,4 | 55,3 |
| Mittel | 44,3 | 44,9 | 45,8 | 47,2 | 49,2 | 52,3 | 55,8 |
| ber. | 44,4 | 44,7 | 45,6 | 47,2 | 49,4 | 52,3 | 55,8 |

$\beta =$ 61,5 72,0 76,0 73,5 65,0 56,5 38,5
65,5 74,0 77,0 73,0 64,0 54,0 38,0
Mittel 63,5 73,0 76,5 73,0 64,5 55,0 38,0

$\delta_0 = 47{,}2,\ \delta_1 = 1{,}9,\ \delta_2 = 0{,}32.$



Digitized by Google

$+ 45^0$ No. 25. $D = 800 + \delta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 53,1 | 49,9 | 47,3 | 45,0 | 43,1 | 42,4 | 42,0 |
| | 53,7 | 50,7 | 47,7 | 45,7 | 43,6 | 42,4 | 42,1 |
| | 52,6 | 50,8 | 47,7 | 45,6 | 43,7 | 42,6 | 41,9 |
| | 52,0 | 49,3 | 46,0 | 44,0 | 42,2 | 40,9 | 39,9 |
| Mittel | 52,8 | 50,2 | 47,2 | 45,1 | 43,2 | 42,1 | 41,5 |
| ber. | 53,0 | 49,9 | 47,2 | 45,1 | 43,4 | 42,2 | 41,4 |

$\delta_0 = 45{,}1,\ \delta_1 = 1{,}9,\ \delta_2 = 0{,}24.$

$B = 6000 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | − 7,5 | −1,0 | +5,0 | +6,0 | +2,0 | −2,0 | −17,0 |
| | −15,0 | −2,0 | +5,0 | +5,0 | +2,0 | −1,5 | −18,0 |
| Mittel | −11,0 | −1,5 | +5,0 | +5,5 | +2,0 | −2,0 | −17,5 |

$+ 45^0$ No. 26. $D = 800 + \delta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 35,8 | 37,4 | 39,0 | 41,0 | 43,4 | 46,3 | 48,4 |
| | 37,0 | 36,9 | 38,8 | 40,9 | 42,9 | 45,1 | 48,2 |
| | 36,0 | 38,0 | 39,0 | 41,3 | 43,5 | 46,4 | 48,8 |
| | 36,2 | 36,7 | 37,8 | 39,6 | 41,6 | 44,2 | 46,4 |
| Mittel | 36,2 | 37,3 | 38,5 | 40,7 | 42,8 | 45,5 | 47,9 |
| ber. | 36,1 | 37,3 | 38,8 | 40,6 | 42,8 | 45,3 | 48,1 |

$\delta_0 = 40{,}6,\ \delta_1 = 2{,}0,\ \delta_2 = 0{,}16.$

$B = 6000 + \beta$*

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | − 6,5 | +7,0 | +5,0 | +4,0 | +2,0 | −4,0 | −19,0 |
| | −11,5 | +1,5 | +5,0 | +7,0 | +2,5 | −3,0 | −8,0 |
| Mittel | − 9,0 | +4,0 | +5,0 | +5,5 | +2,0 | −3,5 | −13,5 |

$+ 45^0$ No. 27. $D = 800 + \delta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 36,0 | 36,7 | 37,6 | 39,3 | 42,1 | 43,4 | 46,4 |
| | 38,6 | 40,8 | 40,4 | 43,0 | 44,1 | 46,7 | 49,5 |
| | 38,7 | 40,2 | 41,3 | 42,5 | 44,5 | 47,0 | 51,2 |
| | 41,0 | 41,9 | 43,1 | 45,1 | 45,9 | 48,3 | 51,7 |
| Mittel | 38,6 | 39,9 | 41,1 | 42,5 | 44,2 | 46,3 | 49,7 |
| ber. | 38,9 | 39,6 | 40,8 | 42,4 | 44,4 | 46,8 | 49,7 |

$\delta_0 = 42{,}6,\ \delta_1 = 1{,}8,\ \delta_2 = 0{,}21.$

$B = 6000 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | −8,0 | +2,0 | 5,5 | 5,0 | 3,0 | −3,0 | −20,0 |
| | −8,5 | +1,5 | 5,5 | 5,0 | 2,5 | −3,5 | −19,0 |
| Mittel | −8,0 | +2,0 | 5,5 | 5,0 | 3,0 | −3,5 | −19,5 |

$+ 45^0$ No. 28. $D = 800 + \delta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 37,0 | 38,0 | 39,3 | 40,7 | 42,5 | 44,1 | 46,0 |
| | 38,0 | 38,9 | 40,5 | 42,0 | 43,9 | 46,1 | 47,5 |
| | 39,4 | 39,7 | 41,0 | 42,6 | 44,2 | 46,1 | 48,4 |
| | 41,3 | 41,4 | 42,1 | 43,4 | 45,6 | 48,1 | 51,0 |
| Mittel | 38,9 | 39,5 | 40,7 | 42,2 | 44,1 | 46,1 | 48,2 |
| ber. | 38,7 | 39,6 | 40,8 | 42,2 | 44,0 | 46,0 | 48,3 |

$\delta_0 = 42{,}2,\ \delta_1 = 1{,}6,\ \delta_2 = 0{,}15.$

$B = 6000 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | −10,0 | +2,0 | 7,0 | 8,0 | 5,0 | −1,0 | −13,0 |
| | − 9,0 | +7,0 | 7,0 | 7,0 | 6,0 | +1,0 | −15,0 |
| Mittel | − 9,5 | +4,5 | 7,0 | 7,5 | 5,5 | 0,0 | −14,0 |

$90^0$ AI. No. 1. $D = 800 + \delta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 34,1 | 40,0 | 41,2 | 42,0 | 42,1 | 38,8 | 33,8 |
| | 43,1 | 49,4 | 50,7 | 50,0 | 49,1 | 46,3 | 41,5 |
| | 47,0 | 51,7 | 52,5 | 52,2 | 52,3 | 48,8 | 40,6 |
| | 53,9 | 58,8 | 59,1 | 58,8 | 58,0 | 54,1 | 45,0 |
| Mittel | 44,5 | 50,0 | 50,9 | 50,7 | 50,4 | 47,0 | 40,2 |
| ber. | 44,7 | 49,0 | 51,3 | 51,6 | 49,9 | 46,2 | 40,5 |

$\delta_0 = 51{,}6,\ \delta_1 = 0{,}7,\ \delta_2 = -1{,}0.$

$B = 5400 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 66 | 55 | 44 | 42 | 46 | 57 | 69 |
| | 68 | 51 | 42 | 43 | 50 | 61 | 71 |
| Mittel | 67 | 53 | 43 | 43 | 48 | 59 | 70 |
| ber. | 66,7 | 53,1 | 45,3 | 43,3 | 47,1 | 56,7 | 72,1 |

$\beta_0 = 43{,}3,\ \beta_1 = 0{,}9,\ \beta_2 = +2{,}9.$

* Bei diesem Stäbchen waren die Kanten mehrfach durch Scharten zerstört.

Digitized by Google

90° AI. No. 2. $D = 800 + \delta$ $B = 5400 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 68,5 | 72,0 | 73,0 | 74,7 | 75,3 | 76,3 | 73,3 |
| | 69,2 | 73,3 | 74,7 | 75,7 | 77,7 | 77,7 | 75,7 |
| | 69,4 | 74,0 | 74,5 | 76,0 | 78,0 | 78,0 | 74,4 |
| | 70,0 | 73,5 | 75,0 | 76,2 | 78,2 | 79,3 | 75,3 |
| Mittel | 69,3 | 73,2 | 74,3 | 75,7 | 77,3 | 77,8 | 74,7 |
| ber. | 69,3 | 72,7 | 75,0 | 76,4 | 77,0 | 76,7 | 75,3 |

$\delta_0 = 76{,}4,\ \delta_1 = 1{,}0,\ \delta_2 = -0{,}45.$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 52 | 39 | 30 | 37 | 42 | 60 | 78 |
| | 48 | 38 | 32 | 34 | 44 | 60 | 77 |
| Mittel | 50 | 39 | 31 | 36 | 43 | 60 | 77 |
| ber. | 49,0 | 38,0 | 33,4 | 35,2 | 43,4 | 58,0 | 79,0 |

$\beta_0 = 35{,}2,\ \beta_1 = 5{,}0,\ \beta_2 = +3{,}2.$

90° AI. No. 3. $D = 800 + \delta$ $B = 5400 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 26,0 | 29,5 | 32,3 | 33,4 | 32,7 | 32,1 | 28,6 |
| | 36,8 | 40,8 | 43,5 | 44,8 | 45,2 | 44,5 | 42,1 |
| | 37,4 | 40,5 | 43,0 | 45,4 | 45,8 | 45,6 | 43,8 |
| | 49,5 | 51,8 | 54,4 | 56,8 | 57,5 | 58,0 | 56,4 |
| Mittel | 37,4 | 40,6 | 43,3 | 45,1 | 45,3 | 45,1 | 42,7 |
| ber. | 37,1 | 40,9 | 43,4 | 45,0 | 45,4 | 44,7 | 42,9 |

$\delta_0 = 45{,}0,\ \delta_1 = 1{,}0,\ \delta_2 = -0{,}55.$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 68 | 56 | 48 | 47 | 52 | 61 | 76 |
| | 70 | 56 | 50 | 47 | 56 | 61 | 76 |
| Mittel | 69 | 56 | 49 | 47 | 54 | 61 | 76 |
| ber. | 68,4 | 56,2 | 49,4 | 48,0 | 52,0 | 61,4 | 76,3 |

$\beta_0 = 48{,}0,\ \beta_1 = 1{,}3,\ \beta_2 = +2{,}7.$

90° AI. No. 1'. $D = 400 + \delta$ $B = 5400 + \beta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 54,6 | 56,3 | 57,3 | 58,6 | 60,1 |
| | 62,2 | 63,8 | 64,6 | 66,0 | 67,6 |
| | 63,5 | 65,5 | 65,5 | 67,0 | 69,3 |
| | 70,2 | 71,7 | 72,3 | 73,8 | 75,1 |
| Mittel | 62,6 | 64,3 | 64,9 | 66,3 | 68,0 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 59,0 | 48,0 | 43,0 | 44,0 | 51,0 |
| | 60,0 | 47,0 | 42,0 | 45,0 | 53,0 |
| Mittel | 59,5 | 47,5 | 42,5 | 44,5 | 52,0 |

90° AI. No. 2'. $D = 400 + \delta$ $B = 5400 + \beta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 61,2 | 64,9 | 66,1 | 67,1 | 62,4 |
| | 66,0 | 70,0 | 71,5 | 71,9 | 70,1 |
| | 67,2 | 71,0 | 74,5 | 73,5 | 69,3 |
| | 72,5 | 75,4 | 76,4 | 76,9 | 73,0 |
| Mittel | 66,7 | 70,3 | 72,1 | 72,3 | 69,0 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 65,0 | 46,0 | 34,0 | 33,5 | 44,0 |
| | 65,0 | 46,0 | 35,0 | 33,0 | 41,0 |
| Mittel | 65,0 | 46,0 | 34,5 | 33,0 | 42,5 |

90° AII. No. 9. $D = 800 + \delta$ $B = 5000 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 29,5 | 38,0 | 43,6 | 49,0 | 52,5 | 55,0 | 52,5 |
| | 43,6 | 52,5 | 58,0 | 59,8 | 66,0 | 69,0 | 68,2 |
| | 46,0 | 54,5 | 59,0 | 64,0 | 67,0 | 70,0 | 69,5 |
| | 48,6 | 54,0 | 59,0 | 63,1 | 67,0 | 70,2 | 71,4 |
| Mittel | 41,9 | 49,8 | 52,4 | 59,0 | 63,1 | 66,1 | 65,4 |
| ber. | 41,8 | 48,7 | 54,3 | 59,0 | 62,5 | 64,9 | 66,2 |

$\delta_0 = 59{,}0,\ \delta_1 = 4{,}1,\ \delta_2 = -0{,}55.$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 87 | 75 | 66 | 64 | 70 | 78 | 87 |
| | 89 | 77 | 72 | 68 | 68 | 78 | 85 |
| Mittel | 88 | 76 | 69 | 66 | 69 | 78 | 86 |
| ber. | 87,7 | 76,2 | 69,3 | 67,0 | 69,3 | 76,2 | 87,7 |

$\beta_0 = 67{,}0,\ \beta_1 = 0,\ \beta_2 = +2{,}3.$

Digitized by Google

90° A II. No. 10. $D = 800 + \delta$ $B = 5000 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 61,4 | 66,5 | 71,8 | 75,8 | 77,9 | 78,5 | 74,9 |
| | 62,7 | 70,6 | 75,1 | 78,6 | 80,7 | 81,0 | 76,9 |
| | 64,3 | 73,7 | 76,1 | 79,0 | 80,4 | 81,4 | 77,4 |
| | 65,6 | 71,3 | 76,2 | 80,3 | 81,2 | 81,5 | 80,3 |
| Mittel | 63,5 | 70,5 | 74,8 | 78,4 | 80,1 | 80,6 | 77,4 |
| ber. | 63,4 | 70,2 | 75,3 | 78,6 | 80,1 | 79,8 | 77,8 |

$\delta_0 = 78{,}6,\ \delta_1 = 2{,}4,\ \delta_2 = -0{,}9.$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 101 | 94 | 87 | 88 | 95 | 106 | 121 |
| | 98 | 94 | 87 | 84 | 91 | 106 | 123 |
| Mittel | 100 | 94 | 87 | 86 | 93 | 106 | 122 |
| ber. | 101,7 | 91,6 | 86,9 | 87,6 | 93,7 | 105,2 | 122,1 |

$\beta_0 = 87{,}6,\ \beta_1 = 3{,}4,\ \beta_2 = +2{,}7.$

90° A II. No. 11. $D = 800 + \delta$ $B = 5100 + \beta$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | -2,0 | -3,0 | -7,5 | -12,2 | -12,5 | -17,8 | -29,3 |
| | 33,9 | 34,9 | 28,3 | 24,2 | 21,6 | 16,1 | 8,0 |
| | 35,4 | 35,7 | 29,0 | 23,0 | 22,3 | 16,4 | 7,6 |
| | 53,0 | 52,0 | 47,0 | 43,0 | 41,0 | 35,5 | 25,8 |
| Mittel | 30,1 | 29,9 | 24,2 | 19,5 | 18,1 | 12,5 | 3,0 |
| ber. | 30,4 | 28,3 | 25,4 | 21,5 | 16,6 | 10,9 | 4,2 |

$\delta_0 = 21{,}5,\ \delta_1 = 4{,}4,\ \delta_2 = -0{,}47.$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 11 | 13 | 14 | 17 | 21 | 28 | 32 |
| | 11 | 13 | 14 | 17 | 21 | 27 | 33 |
| Mittel | 11 | 13 | 14 | 17 | 21 | 27 | 33 |
| ber. | 11,2 | 12,0 | 14,0 | 17,2 | 21,6 | 27,2 | 34,0 |

$\beta_0 = 17{,}2,\ \beta_1 = 3{,}8,\ \beta_2 = 0{,}6.$

90° A II. No. 10'*. $D = 400 + \delta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 75,5 | 79,3 | 80,8 | 80,3 | 78,9 |
| | 75,6 | 80,6 | 82,2 | 81,9 | 80,9 |
| | 76,0 | 81,1 | 82,1 | 81,1 | 81,3 |
| | 78,0 | 81,3 | 83,2 | 83,1 | 82,0 |
| Mittel | 76,3 | 80,6 | 82,1 | 81,6 | 80,8 |

90° A II. No. 11'. $D = 400 + \delta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 63,6 | 63,9 | 64,8 | 66,0 | 67,7 |
| | 66,9 | 67,6 | 67,9 | 69,3 | 71,3 |
| | 70,8 | 70,6 | 70,4 | 72,0 | 74,1 |
| | 72,8 | 73,4 | 73,7 | 74,5 | 76,9 |
| Mittel | 68,5 | 68,9 | 69,2 | 70,4 | 72,5 |

90° A I. No. 15. $D = 800 + \delta$ $B = 6000 + \beta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 38,3 | 39,4 | 41,5 | 44,4 | 48,6 |
| | 41,0 | 40,0 | 41,5 | 45,0 | 49,3 |
| | 41,9 | 40,7 | 42,4 | 46,2 | 51,8 |
| | 40,5 | 41,2 | 43,8 | 47,1 | 51,7 |
| Mittel | 40,4 | 40,2 | 42,3 | 45,7 | 50,3 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 7,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | 4,5 |
| | 7,0 | 3,0 | 0,0 | 2,0 | 4,0 |
| Mittel | 7,0 | 2,5 | 0,0 | 1,0 | 4,0 |

90° A I. No. 16. $D = 800 + \delta$ $B = 6000 + \beta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 39,3 | 40,6 | 42,5 | 45,0 | 48,7 |
| | 40,0 | 41,3 | 43,2 | 45,5 | 48,9 |
| | 41,4 | 41,2 | 43,5 | 45,8 | 50,0 |
| | 41,1 | 42,2 | 44,3 | 47,0 | 51,1 |
| Mittel | 40,5 | 41,3 | 43,4 | 45,8 | 49,2 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | +1,0 | −3,0 | −4,0 | −2,0 | +1,0 |
| | −1,0 | −4,0 | −5,5 | −6,5 | −2,0 |
| Mittel | 0,0 | −3,5 | −5,0 | −4,0 | −0,5 |

* Da die früheren Messungen die Breiten nachgeschliffener Stäbchen merklich unverändert zeigten, ist weiterhin ihre Bestimmung unterlassen.

Digitized by Google

90° AI. No. 17. $D = 800 + \delta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 37,2 | 36,6 | 38,1 | 41,7 | 47,0 |
| | 37,1 | 36,3 | 37,6 | 41,1 | 48,7 |
| | 37,9 | 37,5 | 39,2 | 42,4 | 48,9 |
| | 39,9 | 38,0 | 39,2 | 42,6 | 48,0 |
| Mittel | 38,0 | 37,1 | 38,5 | 41,9 | 48,2 |

$B = 6000 + \beta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 5,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 3,5 |
| | 6,5 | 1,5 | 0,0 | 0,0 | 3,5 |
| Mittel | 6,0 | 1,5 | 0,0 | 0,0 | 3,5 |

90° AI. No. 16'. $D = 400 + \delta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 74,4 | 74,8 | 75,1 | 75,1 | 75,1 |
| | 76,4 | 75,6 | 76,0 | 77,6 | 76,8 |
| | 75,6 | 75,7 | 75,8 | 75,4 | 76,6 |
| | 75,4 | 76,0 | 75,9 | 75,6 | 76,1 |
| Mittel | 75,4 | 75,5 | 75,7 | 75,4 | 76,1 |

90° AI. No. 17'. $D = 400 + \delta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 72,6 | 75,1 | 77,0 | 78,0 | 78,5 |
| | 76,0 | 77,7 | 80,0 | 81,0 | 81,5 |
| | 77,4 | 79,1 | 80,2 | 81,3 | 82,4 |
| | 78,2 | 80,2 | 82,0 | 83,0 | 83,0 |
| Mittel | 76,1 | 78,0 | 79,8 | 80,8 | 81,3 |

90° BI. No. 18. $D = 800 = \delta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 45,1 | 45,6 | 46,7 | 48,4 | 50,6 |
| | 43,4 | 44,4 | 46,2 | 48,0 | 50,3 |
| | 44,3 | 44,8 | 46,1 | 48,2 | 50,2 |
| | 44,9 | 45,4 | 46,7 | 48,1 | 50,8 |
| Mittel | 44,4 | 45,0 | 46,4 | 48,2 | 50,5 |

$B = 6000 + \beta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 27,5 | 25,5 | 23,0 | 19,5 | 10,5 |
| | 27,5 | 26,0 | 22,5 | 16,5 | 9,0 |
| Mittel | 27,5 | 26,0 | 23,0 | 18,0 | 10,0 |

90° BI. No. 19. $D = 800 + \delta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 33,0 | 34,6 | 36,1 | 38,0 | 40,4 |
| | 34,2 | 35,4 | 36,6 | 38,6 | 41,0 |
| | 34,3 | 35,0 | 36,7 | 38,5 | 41,3 |
| | 35,1 | 36,3 | 37,8 | 40,1 | 42,5 |
| Mittel | 34,1 | 35,3 | 36,8 | 38,6 | 41,3 |

$B = 6000 + \beta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 26,0 | 23,5 | 21,0 | 15,5 | 8,5 |
| | 25,0 | 23,0 | 21,5 | 14,0 | 10,0 |
| Mittel | 25,5 | 23,0 | 21,0 | 15,0 | 9,0 |

90° BI. No. 20. $D = 800 + \delta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 35,9 | 36,9 | 37,7 | 39,5 | 41,5 |
| | 37,5 | 37,8 | 38,5 | 40,0 | 41,7 |
| | 36,1 | 37,1 | 38,7 | 41,1 | 43,9 |
| | 37,7 | 38,1 | 39,5 | 41,0 | 43,4 |
| Mittel | 36,8 | 37,5 | 38,6 | 40,4 | 42,6 |

$B = 6000 + \beta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\beta =$ | 21,5 | 21,5 | 19,5 | 13,0 | 7,0 |
| | 21,0 | 20,0 | 18,0 | 15,0 | 8,5 |
| Mittel | 21,0 | 21,0 | 19,0 | 14,0 | 9,0 |

90° BI. No. 19'. $D = 400 + \delta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 74,6 | 77,4 | 78,2 | 76,2 | 72,1 |
| | 75,9 | 78,3 | 79,2 | 77,1 | 73,9 |
| | 75,8 | 78,7 | 79,2 | 76,8 | 74,6 |
| | 74,7 | 77,3 | 78,0 | 75,1 | 71,1 |
| Mittel | 75,3 | 77,9 | 78,7 | 76,3 | 72,9 |

Digitized by Google

90° Bl. No. 20′. $D = 400 + \delta$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta =$ | 76,3 | 75,8 | 75,5 | 74,4 | 72,1 |
| | 77,0 | 76,6 | 76,2 | 75,1 | 74,2 |
| | 77,4 | 76,8 | 76,0 | 74,5 | 73,0 |
| | 76,9 | 76,9 | 76,1 | 74,8 | 74,1 |
| Mittel | 76,9 | 76,5 | 76,0 | 74,7 | 73,4 |

## Biegungen.

Die Resultate der Biegungsbeobachtungen sind im Folgenden für Bergkrystall in derselben Weise mitgetheilt wie früher für Beryll. Die bei der Berechnung der Constanten einzuführenden Dimensionen der Prismen sind an die Spitze gestellt, die Länge $L$ in Millimetern, die Breite $B$ und Dicke $D$ in Theilen der Sphärometers (= 1/992,7 mm.), und die Belastung $P$ in Grammen, die Beobachtungstemperatur $\vartheta$ in Celsius-Graden zugefügt.

Was die beobachteten Biegungen $\eta$ anbetrifft, so ist zu bemerken, dass die Stäbchen No. 1—14 mit demselben Apparat beobachtet sind, wie die aus Beryll gefertigten, die angegebenen Werthe also 0,000249 mm. als Einheit voraussetzen. Für die neuen Stäbchen No. 15—28 war der Apparat etwas geändert, so dass seine Constante nunmehr 0,0002359 mm. betrug[1]. Nachträglich sind dann noch eine Reihe alter Stäbchen zur Controle mit dem neu eingerichteten Apparate beobachtet worden. Zur Unterscheidung sind die Mittelwerthe für $\eta$ mit dem Index $a$ oder $n$ versehen.

Die Werthe $\eta'$ geben in den Einheiten von $\eta$ die Grösse der Eindrückung der Lagerschneiden an und sind durch directe Beobachtungen bestimmt. $\varrho_1$ und $\varrho_2$ messen in der früher erörterten Weise die Grösse der Reibung in den beiden Axen des Biegungsapparates.

Die Berechnung nach Formel (29) giebt den Werth E des Dehnungscoëfficienten oder $E = 1/E$ für die Richtung, in welcher die Längsaxe des betreffenden Prismas gegen die Krystallaxen orientirt ist, da aber die verschiedenen unter derselben Bezeichnung zusammengefassten Stäbchen *verschiedene* Abweichungen von den vorgeschriebenen Richtungen besitzen

[1] Dabei waren die messingnen Lagerschneiden durch solche aus hartem Stahl ersetzt, um die Eindrückung zu verringern.

Digitized by Google

und diese — ungleich dem oben gezeigten Verhalten hexagonaler Krystalle — bei rhomboëdrischen Krystallen bedeutenden Einfluss üben, so sind die direct berechneten Resultate zunächst im Allgemeinen noch nicht vergleichbar.

0° No. 5. $L = 54{,}4$, $B = 4659$, $D = 784{,}7$ $P = 56$, $\vartheta = 17{,}5$, $\eta' = 2{,}7$.
$\eta_a = 385{,}0$, $\varrho_1 = 3{,}6$, $\varrho_2 = 5{,}0$, $E = 10230000$.

$L = 52{,}2$*, $P = 100$, $\vartheta = 18{,}6$, $\eta' = 2{,}6$.
$\eta_n = 632{,}0$, $\varrho_1 = 8{,}0$, $\varrho_2 = 6{,}4$, $E = 10280000$.

0° No. 6. $L = 54{,}4$, $B = 4732$, $D = 791{,}2$, $P = 56$, $\vartheta = 18{,}1$, $\eta' = 2{,}7$.
$\eta_a = 365{,}6$, $\varrho_1 = 3{,}0$, $\varrho_2 = 4{,}5$, $E = 10360000$.

0° No. 7. $L = 54{,}4$, $B = 5124{,}5$, $D = 810{,}8$, $P = 56$, $\vartheta = 16{,}4$, $\eta' = 2{,}5$.
$\eta_a = 315{,}1$, $\varrho_1 = 3{,}3$, $\varrho_2 = 4{,}8$, $E = 10300000$.

0° No. 8. $L = 54{,}4$, $B = 4667$, $D = 807{,}5$, $P = 56$, $\vartheta = 16{,}7$, $\eta' = 2{,}7$.
$\eta_a = 350{,}6$, $\varrho_1 = 3{,}2$, $\varrho_2 = 4{,}8$, $E = 10280000$.

$L = 52{,}2$*, $P = 100$, $\vartheta = 18{,}1$, $\eta' = 2{,}6$.
$\eta_n = 578{,}2$, $\varrho_1 = 9{,}0$, $\varrho_2 = 8{,}0$, $E = 10290000$.

0° No. 6'. $L = 56{,}2$, $B = 4732$, $D = 465{,}0$, $P = 20$, $\vartheta = 16{,}4$, $\eta' = 0{,}5$.
$\eta_n = 743{,}0$, $\varrho_1 = 16{,}0$, $\varrho_2 = 11{,}5$, $E = 10340000$.

0° No. 7'. $L = 56{,}2$, $B = 5124{,}5$, $D = 468{,}0$, $P = 20$, $\vartheta = 16{,}2$, $\eta' = 0{,}5$.
$\eta_n = 673{,}0$, $\varrho_1 = 20{,}0$, $\varrho_1 = 13{,}0$, $E = 10350000$.

Die Formel (28) für den Dehnungscoëfficienten E zeigt, dass für eine unendlich kleine Abweichung der Längsaxe des Prismas aus der krystallographischen Hauptaxe $\delta E = 0$, d. h. zweiter Ordnung unendlich klein ist. Die Abweichungen der beobachteten Prismen von der vorgeschriebenen Richtung sind demnach bei der Gattung (0°) ohne merklichen Einfluss auf den Werth von $E$ und E; man erhält daher unmittelbar das

Gesammtmittel $E_0 = 10304000$, $E_0 = 9{,}705 \cdot 10^{-8}$
Wahrscheinlicher Fehler $\pm$ 10000, $\pm$ 0,009.

−45° No. 21. $L = 66{,}2$, $B = 5963$, $D = 853{,}5$, $P = 100$, $\vartheta = 17{,}4$, $\eta' = 2{,}8$.
$\eta_n = 620{,}7$, $\varrho_1 = 8{,}0$, $\varrho_2 = 10{,}0$, $E = 13040000$.

−45° No. 22. $L = 62{,}2$, $B = 5962$, $D = 846{,}7$, $P = 100$, $\vartheta = 17{,}2$, $\eta' = 2{,}6$.
$\eta_n = 523{,}7$, $\varrho_1 = 8{,}5$, $\varrho_2 = 10{,}5$, $E = 13130000$.

−45° No. 23. $L = 62{,}2$, $B = 5964$, $D = 850{,}1$, $P = 100$, $\vartheta = 17{,}2$, $\eta' = 2{,}6$.
$\eta_n = 518{,}3$ $\varrho_1 = 7{,}0$, $\varrho_2 = 10{,}0$, $E = 13110000$.

* Bei diesen Beobachtungen war die Belastung zufällig um 1 mm. von der Mitte angebracht. Demgemäss ist, wie die Theorie ergiebt, bei der Berechnung $E$ um 0,0045 seines Werthes nach Formel (29) verkleinert worden.

Digitized by Google

$-45^0$ No. 24. $L = 58{,}2$, $B = 5967$, $D = 847{,}5$, $P = 100$, $\vartheta = 17{,}4$, $\eta' = 2{,}6$.
$\eta_n = 429{,}5$, $\varrho_1 = 6{,}5$, $\varrho_2 = 11{,}0$, $E = 13080000$.

Weicht die Richtung der Längsaxe von der vorausgesetzten Lage: in der krystallographischen Symmetrieebene um $-45^0$ gegen die Hauptaxe geneigt (d. h. $\gamma = -\beta = 1/\sqrt{2}$, $\alpha = 0$) um $\delta\alpha$, $\delta\beta$, $\delta\gamma$ ab, so ergiebt sich dadurch eine Änderung des Dehnungscoëfficienten E nach (28)

$$(\delta E)_{-45} = \sqrt{2}\,(s_{33} - s_{14} - s_{11})\,\delta\gamma$$

oder falls man $\gamma = \cos(45^0 + \delta\varphi)$ setzt

$$(\delta E)_{-45} = +(s_{33} - s_{14} - s_{11})\,\delta\varphi.$$

Die Abweichung aus der Meridianebene ist also ohne Einfluss.

Vorläufige Bestimmungen ergaben beim Bergkrystall hierfür

$$(\delta E)_{-45} = -0{,}89 \,.\, 10^{-8} \,.\, \delta\varphi,$$

also da $E = 1/E$ und $E$ nahe $= 13{,}0 \,.\, 10^6$ ist:

$$(\delta E)_{-45} = +1{,}52 \,.\, 10^{+6} \,.\, \delta\varphi;$$

es ändert also eine Abweichung um einen Grad $E$ nur etwa um 0,002 seines Werthes. Die mittlere Abweichung der obigen Stäbchen fand sich nach Messungen von Dr. Hennig und mir $+1{,}5^0$, es ist also, um die Werthe $E$ auf $-45^0$ zu reduciren, bei allen $0{,}04 \,.\, 10^6$ abzuziehen. So findet sich für

| | |
|---|---|
| No. 21 | $E = 13000000$ |
| 22 | 13090000 |
| 23 | 13070000 |
| 24 | 13040000 |

Gesammtmittel $E_{-45} = 13050000$, $E_{-45} = 7{,}668 \,.\, 10^{-8}$
wahrscheinlicher Fehler $\pm$ 9000, $\pm$ 0,0055.

$+45^0$ No. 25. $L = 50{,}2$, $B = 5999$, $D = 845{,}3$, $P = 100$, $\vartheta = 17{,}8$, $\eta' = 2{,}6$.
Mittel $\eta_n = 424{,}0$, $\varrho_1 = 7{,}5$, $\varrho_2 = 9{,}5$, $E = 8520000$.

$+45^0$ No. 26. $L = 52{,}2$, $B = 6000$, $D = 840{,}7$, $P = 100$, $\vartheta = 18{,}0$, $\eta' = 2{,}6$.
Mittel $\eta_n = 484{,}2$, $\varrho_1 = 7{,}5$, $\varrho_2 = 9{,}5$, $E = 8520000$.

$+45^0$ No. 27. $L = 52{,}2$, $B = 6000$, $D = 842{,}5$, $P = 100$, $\vartheta = 16{,}8$, $\eta' = 2{,}6$.
Mittel $\eta_n = 481{,}3$, $\varrho_1 = 7{,}5$, $\varrho_2 = 9{,}5$, $E = 8520000$.

$+45^0$ No. 28. $L = 48{,}2$, $B = 6002$, $D = 842{,}3$, $P = 100$, $\vartheta = 17{,}0$, $\eta' = 2{,}6$.
Mittel $\eta_n = 378{,}6$, $\varrho_1 = 7{,}0$, $\varrho_2 = 11{,}0$, $E = 8540000$.

Für die Gattung $(+45^0)$ ergiebt Formel (28) die einer Abweichung $\delta\alpha$, $\delta\beta$, $\delta\gamma$ von der vorgeschriebenen Orientirung

Digitized by Google

($\gamma = \beta = 1/\sqrt{2}$, $\alpha = 0$) des Prismas entsprechende Änderung von E:

$$\delta E = \sqrt{2}(s_{33} + s_{14} - s_{11})\,\delta\gamma$$

oder wenn man setzt: $\gamma = \cos(45^0 + \delta\varphi)$

$$= -(s_{33} + s_{14} - s_{11})\,\delta\varphi$$
$$\delta E = +7{,}26 \,.\, 10^{-8} \,.\, \delta\varphi,$$

also, da $E = 1/E$ und $E$ nahe $= 8{,}5 \,.\, 10^6$ ist,

$$\delta E = -5{,}11 \,.\, 10^6 \,.\, \delta\varphi.$$

Für die obigen Stäbchen No. 25—28 gab sich die Abweichung der Längsaxe von $+45^0$ durch eine grosse Anzahl von Messungen im Mittel gleich $-1{,}4^0$, es ist also von allen oben angegebenen Zahlen $0{,}12 \,.\, 10^6$ in Abzug zu bringen, um den $-45^0$ entsprechenden Werth zu erhalten.

Hiernach wird für

| | | | |
|---|---|---|---|
| No. 25 | $E = 8400000$ | | |
| 26 | 8400000 | | |
| 27 | 8400000 | | |
| 28 | 8420000 | | |
| Gesammtmittel | $E_{+45} = 8405000$, | $E_{+45} = 11{,}898$ | |
| wahrscheinlicher Fehler | $\pm 4000$, | $\pm 0{,}006$. | |

Der grosse Einfluss der Lage der Längsaxe bei dieser Gattung macht sie zur Bestimmung der Elasticitätsconstanten weniger geeignet; bei einer Wiederholung wird man statt ihrer passend eine Richtung benutzen, in welcher $E$ ein Maximum oder Minimum erreicht. Die hier vorliegenden Bestimmungen gestatten ihre Berechnung.

Die mit der Marke ($45^0$) überkommenen Stäbchen No. 12 bis 14 lieferten resp.

$45^0$ No. 12. $L = 54{,}4$, $B = 5443$, $D = 776{,}3$, $P = 56$, $\vartheta = 16{,}8$, $\eta' = 10{,}3$.
$\eta_a = 277{,}0$, $E = 12950000$

No. 13. $L = 50{,}4$, $B = 4504$, $D = 816{,}4$, $P = 56$, $\vartheta = 17{,}9$, $\eta' = 10{,}8$.
$\eta_a = 227{,}4$, $E = 13180000$.

No. 14. $L = 54{,}4$, $B = 4497$, $D = 822{,}5$, $P = 56$, $\vartheta = 18{,}3$, $\eta' = 10{,}8$.
$\eta_a = 277{,}5$, $E = 13160000$.

Die optische Untersuchung ergab bei No. 12 die Abweichung $\delta\varphi = -1{,}5^0$, bei No. 13 und 14 $\delta\varphi = +1^0$, der mittlere Werth der obigen Zahlen für $E = 1309000$ müsste also nahe für $45^0$ gelten. Man bemerkt, dass er dem oben

Digitized by Google

für die Gattung ($-45^0$) erhaltenen sehr nahe kömmt; doch war bei den Beobachtungen der Apparat nicht ganz in Ordnung und die Grösse der Eindrückung der Lagerschneiden nur zu schätzen. Ich werde die erhaltenen drei Werthe für No. 12—14 daher von der Berechnung der Constanten ausschliessen.

$90^0$ AI. No. 1. $L = 54{,}4$, $B = 5446$, $D = 850{,}4$, $P = 56{,}0$, $\vartheta = 18{,}5$, $\eta' = 2{,}3$.
$\eta_a = 338{,}6$, $\varrho_1 = 2{,}8$, $\varrho_2 = 4{,}0$, $E = 7810000$.

$90^0$ AI. No. 2. $L = 54{,}4$, $B = 5438$, $D = 876{,}0$, $P = 56{,}0$, $\vartheta = 17{,}9$, $\eta' = 2{,}3$.
$\eta_a = 310{,}3$, $\varrho_1 = 3{,}0$, $\varrho_2 = 4{,}2$, $E = 7810000$.

$90^0$ AI. No. 3. $L = 54{,}4$, $B = 5460$, $D = 844{,}5$, $P = 56{,}0$, $\vartheta = 18{,}3$, $\eta' = 2{,}3$.
$\eta_a = 341{,}9$, $\varrho_1 = 3{,}0$, $\varrho_2 = 5{,}0$, $E = 7870000$.

$L = 50{,}2$, $P = 100$, $\vartheta = 17{,}4$, $\eta' = 2{,}6$.
$\eta_n = 505{,}0$ $E = 7880000$.

$90^0$ AI. No. 15. $L = 50{,}2$, $B = 6002$, $D = 842{,}8$, $P = 100$, $\vartheta = 16{,}6$, $\eta' = 2{,}6$.
$\eta_n = 462{,}2$ $E = 7880000$.

$L = 52{,}2$*, $P = 100$, $\vartheta = 16{,}8$.
$\eta_n = 516{,}6$ $E = 7880000$.

$90^0$ AII. No. 9. $L = 52{,}4$, $B = 5069$, $D = 859{,}1$, $P = 56$, $\vartheta = 16{,}0$, $\eta' = 2{,}5$.
$\eta_a = 312{,}3$, $\varrho_1 = 3{,}2$, $\varrho_2 = 4{,}8$, $E = 7890000$.

$L = 50{,}2$, $P = 100$, $\vartheta = 17$, $\eta' = 2{,}6$.
$\eta_n = 513{,}3$, $\varrho_1 = 8{,}0$, $\varrho_2 = 8{,}5$, $E = 7930000$.

$90^0$ AII. No. 10. $L = 52{,}4$, $B = 5090$, $D = 877{,}8$, $P = 56$, $\vartheta = 16{,}8$, $\eta' = 2{,}5$.
$\eta_a = 287{,}9$, $\varrho_1 = 3{,}0$, $\varrho_2 = 4{,}6$, $E = 8020000$.

$L = 50{,}2$, $P = 100$, $\vartheta = 17{,}2$, $\eta' = 2{,}6$.
$\eta_n = 475{,}8$, $\varrho_1 = 10{,}0$, $\varrho_2 = 9{,}5$, $E = 8010000$.

$90^0$ AII. No. 11. $L = 54{,}4$, $B = 5118$, $D = 821{,}0$, $P = 56$, $\vartheta = 16{,}0$, $\eta' = 10{,}8$**.
$\eta_a = 401{,}3$, $\varrho_1 = 3{,}8$, $\varrho_2 = 5{,}1$, $E = 7950000$.

$90^0$ BI. No. 18. $L = 48{,}2$, $B = 6022$, $D = 846{,}6$, $P = 100$, $\vartheta = 16{,}4$, $\eta' = 2{,}6$.
$\eta_n = 404{,}5$, $\varrho_1 = 7{,}5$, $\varrho_2 = 7{,}0$, $E = 7840000$.

Diese Werthe sind nun zunächst durch Correction wegen der Abweichung der Stäbchen von der vorgeschriebenen Orien-

---

* Um 1 mm. vom Mittelpunkt belastet, demgemäss corrigirt.

** Wie sich nachträglich herausstellte, waren die Lagerschneiden bei dieser Beobachtung lose, die desshalb nothwendige Correction ist in y' enthalten und nur näherungsweise richtig. Eine Wiederholung der Beobachtung war nicht möglich, da das Stäbchen bei Entdeckung des Fehlers schon dünner geschliffen war.

Digitized by Google

tirung vergleichbar zu machen. Formel (28) ergiebt für die Gattung

$$90^0\ \text{A I.}\ (\alpha = \beta_1 = \gamma_2 = 1) \quad \delta E = 0$$
$$\text{für } 90^0\ \text{A II.}\ (\alpha_1 = \beta = \gamma_2 = 1) \quad \delta E = -2 s_{14} \delta\gamma$$
$$\text{für } 90^0\ \text{B I.}\ (\alpha = \beta_2 = \gamma_1 = 1) \quad \delta E = 0.$$

Die Stäbchen der ersten und letzten Gattung sind also für die Bestimmung von E am günstigsten.

Für ($90^0$ A II) erhält man, wenn man $\gamma = \cos\varphi$ setzt, unter Rücksicht auf den durch vorläufige Bestimmung erhaltenen Werth

$$s_{14} = -4{,}24 \cdot 10^{-8}$$
$$\delta E = -8{,}48 \cdot 10^{-8} \cdot \delta\varphi$$

also da $E = 1/E$ und $E$ nahe $= 7{,}85 \cdot 10^6$ ist

$$\delta E = +5{,}20 \cdot 10^6 \cdot \delta\varphi.$$

Die optische Untersuchung liess für $\delta\varphi$ die folgenden absoluten Werthe erkennen

für No. 9 $\delta\varphi = 1^0$, No. 10 $\delta\varphi = 1{,}5^0$, No. 11 $\delta\varphi = 1^0$.

In welchem Sinne diese Abweichungen lagen war nicht mehr festzustellen, die vorstehenden Werthe $E$ für ($90^0$ A I) und ($90^0$ B I) lassen aber erkennen, dass sie positiv zu rechnen sein werden. Die Correctionen würden demgemäss sein

für No. 9 $\delta E = -0{,}09 \cdot 10^6$; No. 10 $\delta E = -0{,}14 \cdot 10^6$;
No. 11 $\delta E = -0{,}09 \cdot 10^6$.

Hiernach erhält man schliesslich die folgende Zusammenstellung:

| | | |
|---|---|---|
| $90^0$ A I. | No. 1, | $E = 7810000$ |
| | No. 2, | 7810000 |
| | No. 3, | 7870000 |
| | | 7880000 |
| | No. 15, | 7880000 |
| | | 7880000 |
| $90^0$ A II. | No. 9, | 7800000 |
| | | 7840000 |
| | No. 10, | 7880000 |
| | | 7870000 |
| | No. 11, | 7860000 |
| $90^0$ B I. | No. 18, | 7840000 |
| Gesammtmittel | | $E_{90} = 7853000$, $E_{90} = 12734.10^{-8}$ |
| wahrscheinlicher Fehler | | $\pm 7000$, $\pm 0{,}011$. |

Digitized by Google

Die Übereinstimmung der unter verschiedenen Umständen an demselben Stäbchen gefundenen Werthe zeigt, dass die Ursachen der Abweichungen hauptsächlich in den Dimensionsbestimmungen und in Inhomogenitäten der Substanz zu suchen sind, nicht in den Biegungsbeobachtungen.

Die Gleichheit der Werthe von $E$ für die drei Gattungen ($90^0$ A I), ($90^0$ A II) und ($90^0$ B I) giebt eine Bestätigung der Theorie (s. hierzu Formel 36).

## Drillungen.

**Die Bezeichnungen sind dieselben wie beim Beryll; vergl. dazu p. 76 u. 82.**

$0^0$ No. 5. $L = 40{,}2$, $B = 4664$, $D = 784{,}5$, $A = 5163$, $\vartheta = 18$.

| | $G$ | $G+20$ | $G+40$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma = 25{,}2$ | 113,1 | 201,6 | 6,0 |
| rR. | $\sigma = 26{,}0$ | 114,7 | 203,6 | 8,0 |
| | $\sigma_{20} = 88{,}55$. | | | |

$0^0$ No. 6. $L = 41{,}18$, $B = 4733$, $D = 791{,}5$, $A = 5163$, $\vartheta = 16{,}7$.

| | $G$ | $G+20$ | $G+40$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|
| rR. | $\sigma = 24{,}7$ | 110,8 | 197,5 | 2,5 |
| lR. | $\sigma = 24{,}9$ | 110,9 | 197,5 | 2,5 |
| | $\sigma_{20} = 86{,}35$. | | | |

$0^0$ No. 7. $L = 41{,}3$, $B = 5127$, $D = 811{,}0$, $A = 5163$, $\vartheta = ?$

| | $G$ | $G+20$ | $G+40$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma = 21{,}6$ | 96,9 | 172,4 | 0,5 |
| rR. | $\sigma = 22{,}4$ | 97,7 | 172,9 | 3,0 |
| | $\sigma_{20} = 75{,}30$. | | | |

$0^0$ No. 8. $L = 30{,}68$, $B = 4671$, $D = 807{,}9$, $A = 5163$, $\vartheta = 17{,}5$.

| | $G$ | $G+20$ | $G+40$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|
| rR. | $\sigma = 23{,}9$ | 103,7 | 183,5 | 3,0 |
| lR. | $\sigma = 23{,}2$ | 103,0 | — | 1,1 |
| | $\sigma_{20} = 79{,}80$. | | | |

$0^0$ No. 5'. $L = 41{,}95$, $B = 466{,}4$, $D = 480{,}9$, $A = 5163$, $\vartheta = 17$.

| | $G$ | $G+5$ | $G+10$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma = 107{,}1$ | 202,5 | 297,9 | 13,0 |
| rR. | $\sigma = 107{,}3$ | 203,1 | 298,0 | 14,5 |
| | $\sigma_5 = 95{,}35$. | | | |

$0^0$ No. 6'. $L = 41{,}45$, $B = 4735$, $D = 466{,}4$, $A = 5163$, $\vartheta = 17{,}8$.

| | $G$ | $G+5$ | $G+10$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma = 113{,}3$ | 214,2 | 316,5 | 8,0 |
| rR. | $\sigma = 116{,}4$ | 217,6 | 319,1 | 10,0 |
| | $\sigma_5 = 101{,}5$. | | | |

Digitized by Google

0° No. 7′. $L = 42{,}55$, $B = 5127$, $D = 467{,}8$, $A = 5163$, $\vartheta = 18{,}2$.

| | $G$ | $G+5$ | $G+10$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|
| rR. | $\sigma = 109{,}3$ | 205,6 | 302,2 | 10,5 |
| lR. | $\sigma = 110{,}5$ | 206,8 | 302,7 | 5,0 |
| | $\sigma_s = 96{,}30$. | | | |

Diese Beobachtungen sind nun nach Formel (32) zur Berechnung der beiden Unbekannten T und $f$ zu benutzen. Wir bilden aus

(47) $$\tau = \frac{3NLT}{D^3B} - \frac{D}{B} f\tau.$$

die Hauptgleichungen, indem wir die vier auf die Stäbchen No. 5, 6, 7, 8 und die drei auf No. 5′, 6′, 7′ bezüglichen Formeln addiren. Freilich ist dabei die verschiedene Abweichung der Orientirungen der Stäbchen von der vorausgesetzten nicht berücksichtigt; dieselbe lässt sich hier aber auch nur unvollkommen in Rechnung ziehen, da der Meridian, in welchem die Längsaxen aus der Krystallaxe abweichen und die Orientirungen der Nebenaxen an den Stäbchen durch directe Beobachtung nachträglich nicht bestimmbar sind.

Die Rechnung ergiebt

$$T = 20{,}08 \cdot 10^{-8}, \quad T = 4978000, \quad f = 0{,}6345$$

und wenn man rückwärts den erhaltenen Werth $f$ in die Gleichung (57) einsetzt finden sich die Werthe

| No. 5 | 6 | 7 | 8 | 5′ | 6′ | 7′ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| T = 20,09 | 19,95 | 20,33 | 20,00 | 19,97 | 19,99 | 20,29. |

Die Übereinstimmung ist sehr bedeutend; dass No. 7 und das daraus durch Dünnerschleifen erhaltene No. 7′ einen übereinstimmend grossen Werth ergiebt, zeigt, dass diese Abweichungen nicht in Beobachtungsfehlern, sondern in mangelhafter Orientirung der Prismen begründet sind.

Es ist bemerkenswerth, dass der Werth von $f$ demjenigen sehr nahe liegt, der sich für dieselbe Gattung Stäbchen bei dem hexagonalen System ergiebt, wo rings um die Hauptaxe vollkommene Symmetrie stattfindet; die Theorie giebt dort $f = -0{,}636$. Hiernach kann man wenigstens beim Bergkrystall für die Torsion eines Prismas um die krystallographische Hauptaxe die einfache Formel (8) für $T = T'$ anwenden, wie sie auch für unkrystallinische Medien gilt. Es

Digitized by Google

wäre ein bedeutender Vortheil, wenn sich dies allgemein bei rhomboëdrischen Krystallen bewähren sollte.

Der erhaltene Werth von $T_0$ und $T_0$ ist nun noch so weit als möglich wegen der Orientirung der benutzten Prismen zu corrigiren, was nicht mit Strenge ausführbar ist, da, wie gesagt, die Orientirung sich auf optischem Wege nur ungenügend bestimmen liess. Die Formel (31) für T ergiebt für die Gattung ($0^0$), d. h. für

$$\gamma = 1, \quad \alpha = \beta = \gamma_1 = \gamma_2 = 0$$

allgemein:

$$\delta T_0 = 4 s_{14} (\beta_1 (3 \alpha_1 \delta\alpha - \beta_1 \delta\beta) - \beta_2 \delta\gamma_2).$$

Nach der Herstellungsart war anzunehmen, dass entweder die Schmalseite oder die Breitseite in der krystallographischen Symmetrieebene gelegen hat, d. h. entweder

$$\beta_2 = \alpha_1 = 1, \ \beta_1 = \alpha_2 = 0 \text{ war, also: } \delta T_0 = -4 s_{14} \delta\gamma_2$$

oder

$$\beta_1 = \alpha_2 = 1, \ \beta_2 = \alpha_1 = 0, \qquad \text{also: } \delta T_0 = -4 s_{14} \delta\beta.$$

$\gamma_2$ ist der Cosinus des Winkels zwischen der kleineren Querdimension und $Z$-Axe, $\delta\gamma_2$ ist daher bei der ersten Annahme der Winkel $\delta\psi$, welchen die Polarisationsebene des ordentlichen Strahles, der parallel der Breite durch das Prisma geht, mit der Längskante einschliesst. $\beta$ ist der Cosinus des Winkels zwischen Längs- und $Y$-Axe, $\delta\beta$ also bei der zweiten Annahme der Winkel $\delta\varphi$, welchen die Polarisationsebene des ordentlichen Strahles, welcher parallel der Dicke durch das Stäbchen geht, mit der Längskante einschliesst.

Die optische Prüfung ergab, natürlich nur dem absoluten Werthe nach, $\delta\varphi$ für alle Stäbchen nahe gleich $1^0$, $\delta\psi$ ebenso gross, nur für No. 7 resp. 7′ etwa $2{,}2^0$. Hält man hiermit zusammen, dass No. 7 und 7′ auffällig abweichende Werthe ergeben haben, so kann man mit einer ziemlichen Wahrscheinlichkeit schliessen, dass die Schmalseite der Stäbchen in der Symmetrieebene gelegen hat und auch dass die Correction mit negativem Vorzeichen anzubringen ist.

Hierdurch würde man erhalten, da $s_{14}$ etwa $= -4{,}24 \cdot 10^{-8}$ ist, für:

| No. 5 | 6 | 7 | 8 | 5′ | 6′ | 7′ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $T_0 =$ 19,80 | 19,76 | 19,69 | 19,71 | 19,68 | 19,65 | 19,69. |

Im Mittel $T_0 = 19{,}70 \cdot 10^{-8}$, $T_0 = 5076000$.

Digitized by Google

90° AI. No. 1. $L = 42{,}1$, $B = 5448$, $D = 850{,}2$, $A = 5176$, $\vartheta = 16{,}5$.

| | | $G$ | $G+20$ | $G+40$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma =$ | 25,6 | 113,5 | 200,8 | 11,0 |
| rR. | $\sigma =$ | — | 113,4 | 200,6 | 15,5 |

$\sigma_{20} = 87{,}40.$

90° AI. No. 2. $L = 39{,}52$, $B = 5442$, $D = 875{,}4$, $A = 5176$, $\vartheta = 17{,}5$.

| | | $G$ | $G+20$ | $G+40$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|---|
| rR. | $\sigma =$ | 22,2 | 98,5 | 175,3 | 13,0 |
| lR. | $\sigma =$ | 22,0 | 97,4 | 173,0 | 12,5 |

$\sigma_{20} = 76{,}00.$

90° AI. No. 3. $L = 37{,}25$, $B = 5453$, $D = 844{,}1$ $A = 5176$, $\vartheta = 17{,}0$.

| | | $G$ | $G+20$ | $G+40$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma =$ | 23,5 | 102,9 | 182,9 | 10,0 |
| rR. | $\sigma =$ | 23,4 | 102,5 | 181,6 | 10,0 |

$\sigma_{20} = 74{,}40.$

90° AI. No. 1'. $L = 33{,}25$, $B = 5449$, $D = 465{,}2$, $A = 5163$, $\vartheta = 17$.

| | | $G$ | $G+5$ | $G+10$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|---|
| rR. | $\sigma =$ | 114,7 | 217,7 | 319,9 | 12,5 |
| lR. | $\sigma =$ | 116,3 | 219,0 | 321,3 | 10,5 |

$\sigma_5 = 102{,}2.$

90° AI. No. 2'. $L = 41{,}00$*, $B = 5442$, $D = 470{,}6$, $A = 5163$, $\vartheta = 18$.

| | | $G$ | $G+5$ | $G+10$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma =$ | 135,4 | 256,0 | 376,2 | 9,5 |
| rR. | $\sigma =$ | 137,5 | 258,1 | 378,9 | 10,0 |

$\sigma_5 = 120{,}2.$

Diese Beobachtungen wollen wir bei der Berechnung zusammenfassen, da die Stäbchen No. 1—3 aus demselben Krystall, und zwar gemeinsam herausgeschnitten sind, also gleiche Orientirung zeigen. Wir können zur Bestimmung von T auf eine doppelte Weise verfahren; weil die Längsaxe in eine Normale zur krystallographischen Symmetrieebene fällt, ist die Formel (32) resp. (47) anwendbar, und darin einerseits $f$ durch Combination von Beobachtungen an verschieden dicken Stäbchen zu bestimmen resp. zu eliminiren, andrerseits durch Formel (39) in ihrem Werth zu berechnen. Wenden wir beide Methoden an, so erhalten wir dadurch eine neue Prüfung der Theorie.

Die erstere Methode ergiebt

$$T_{90A} = 29{,}13 \cdot 10^{-8} \qquad f_{90A} = -0{,}521.$$

* Unsichere Messung.



Digitized by Google

Dabei findet sich der Werth von $f$ äusserst empfindlich gegen kleine Änderungen der beobachteten Werthe, die erhaltene Zahl hat also nur geringe Sicherheit. Setzt man sie in (32) ein, so erhält man folgende Werthe von T für die einzelnen Stäbchen:

| No. 1 | 2 | 3 | 1' | 2' |
|---|---|---|---|---|
| T = 29,19 | 29,14 | 29,05 | 29,31 | 28,94. |

Bei der Berechnung von $f$ ist die ungenaue Orientirung der benutzten Stäbchen zu berücksichtigen.

Die Theorie ergiebt, dass nur die Lage der Querdimensionen, nicht aber ein Fehler in der Lage der Längsaxe Einfluss hat.

Die optische Untersuchung an eigens dazu hergestellten Querschnitten der Stäbchen zeigten eine Abweichung von rund 2° der Dickenrichtung aus der Hauptaxe. Demgemäss lieferte die Berechnung:

$$f = -0{,}512$$

zufällig in sehr grosser Übereinstimmung mit dem nach der ersten Methode gefundenen Werthe. Das Einsetzen in (32) ergiebt folgende Werthe

| No. 1 | 2 | 3 | 1' | 2' | |
|---|---|---|---|---|---|
| T = 29,22 | 29,16 | 29,08 | 29,33 | 28,98, | im Mittel $29{,}15 \cdot 10^{-8}$ |

Diese sind nun noch wegen der Orientirung zu corrigiren; es ist:

$$\delta T_{90A} = 4 s_{14} \delta \varphi,$$

die Correction beträgt also hier im Mittel — 0,57. Eine Zusammenstellung aller Werthe gebe ich weiter unten.

90° AI. No. 15. $L = 37{,}80$, $B = 6002$, $D = 843{,}4$, $A = 5163$, $\vartheta = 17{,}7$.

| | $G$ | $G+20$ | $G+40$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma = 35{,}0$ | 107,4 | 179,5 | 1,4 |
| rR. | $\sigma = 35{,}2$ | 108,1 | 180,9 | 1,7 |

$\sigma_{20} = 72{,}55.$

90° AI. No. 16. $L = 34{,}55$, $B = 5997$, $D = 843{,}8$, $A = 5163$, $\vartheta = 18{,}2$.

| | $G$ | $G+20$ | $G+40$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|
| rR. | $\sigma = 32{,}4$ | 99,6 | 166,3 | 2,2 |
| lR. | $\sigma = 32{,}5$ | 99,7 | 166,9 | 2,2 |

$\sigma_{20} = 67{,}10.$

90° AI. No. 17. $L = 37{,}55$, $B = 6002$, $D = 840{,}2$, $A = 5163$, $\vartheta = 18$.

| | $G$ | $G+20$ | $G+40$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma = 35{,}8$ | 109,4 | 182,8 | 2,2 |
| rR. | $\sigma = 34{,}7$ | 108,4 | 181,8 | 3,5 |

$\sigma_{20} = 73{,}50.$

Digitized by Google

90° A I. No. 16'. $L = 34{,}80$, $B = 5997$. $D = 475{,}5$, $A = 5163$, $\vartheta = 16{,}4$.

| | | $G$ | $G+5$ | $G+10$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma =$ | 102,9 | 192,1 | 281,6 | 11,0 |
| rR. | $\sigma =$ | 102,5 | 192,4 | 282,5 | 13,5 |
| | $\sigma_5 =$ | 89,62. | | | |

90° A I. No. 17'. $L = 35{,}10$, $B = 6002$, $D = 479{,}5$, $A = 5163$, $\vartheta = 17{,}1$.

| | | $G$ | $G+5$ | $G+10$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|---|
| rR. | $\sigma =$ | 99,6 | 189,1 | 278,9 | 14,0 |
| lR. | $\sigma =$ | 100,1 | 189,2 | 279,1 | 13,0 |
| | $\sigma_5 =$ | 89,55. | | | |

Benutzt man diese Beobachtungen, um nach Formel (47) T und $f$ zu berechnen, so erhält man die Werthe:

$$T_{90A} = 29{,}37 \cdot 10^{-8} \qquad f = -0{,}496,$$

und rückwärts $f$ in die Formel (57) eingesetzt für die einzelnen Stäbchen

| No. | 15 | 16 | 17 | 16' | 17' |
|---|---|---|---|---|---|
| T = | 29,15 | 29,51 | 29,41 | 29,38 | 29,36. |

Berechnet man hingegen $f$ nach Formel (39), so findet sich, da die Orientirung der Stäbchen derjenigen der vorhergehenden merklich gleich ist, wiederum:

$$f = -0{,}512$$

und daraus

T = 29,06 29,42 29,32 29,32 29,30

im Mittel $T_{90A} = 29{,}28 \cdot 10^{-8}$.

Die beiden Werthe $f$ stimmen hier nicht so gut überein; da aber, wie oben erwähnt, diese Constante äusserst empfindlich gegen kleine Änderungen der beobachteten Werthe, und überdies, wie ebenfalls früher erörtert ist, die Bestimmung der Orientirung der Stäbchen der zweiten Reihe wegen der nicht vollständigen Regelmässigkeit des Materiales schwierig und unsicher ist, so wird man sich mit der Übereinstimmung zufrieden geben müssen.

Auch diese Werthe sind nun noch wegen der Abweichung der Orientirung von der vorgeschriebenen zu corrigiren. Nach dem früheren ist, da $\delta\varphi$ im Mittel gleich $2^0$ ist, überall 0,57 abzuziehen. Die Zusammenstellung der dann erhaltenen Werthe mit den übrigen hierher gehörigen folgt weiter unten.



Digitized by Google

90° A II. No. 9. $L = 34{,}95$, $B = 5070$, $D = 858{,}1$, $A = 5176$, $\vartheta = 16$.

| | $G$ | $G+20$ | $G+40$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|
| rR. | $\sigma = 22{,}6$ | 100,1 | 178,3 | 13,0 |
| lR. | $\sigma = 22{,}0$ | 99,9 | 178,7 | 1,4 |

$\sigma_{20} = 78{,}10.$

90° A II. No. 10. $L = 36{,}45$, $B = 5093$, $D = 877{,}2$, $A = 5163$, $\vartheta = 18{,}5$.

| | $G$ | $G+20$ | $G+40$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma = 21{,}7$ | 96,5 | 171,6 | 2,4 |

Die zweite Reihe Beobachtungen misslang durch eine Störung[1].

$\sigma_{20} = 74{,}95.$

90° A II. No. 11. $L = 39{,}2$, $B = 5118$, $D = 820{,}8$, $A = 5163$, $\vartheta = 19$

| | $G$ | $G+20$ | $G+40$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma = 28{,}0$ | 126,9 | 225,7 | 0,8 |
| rR. | $\sigma = 28{,}7$ | 127,2 | 226,3 | 1,9 |

$\sigma_{20} = 98{,}85.$

90° A II. No. 10'. $L = 37{,}75$, $B = 5093$, $D = 480{,}8$, $A = 5163$, $\vartheta = 16{,}2$.

| | $G$ | $G+5$ | $G+10$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma = 129{,}9$ | 241,8 | 354,7 | 11,5 |
| rR. | $\sigma = 128{,}4$ | 240,6 | 352,1 | 13,5 |

$\sigma_5 = 112{,}15.$

90° A II. No. 11'. $L = 31{,}85$, $B = 5118$, $D = 469{,}8$, $A = 5163$, $\vartheta = 16{,}7$.

| | $G$ | $G+5$ | $G+10$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|
| rR. | $\sigma = 116{,}4$ | 217,8 | 319,1 | 11,5 |
| lR. | $\sigma = 117{,}1$ | 218,4 | 318,5 | 9,0 |

$\sigma_5 = 101{,}05.$

Für die Stäbchen der Gattung (90° A II) ist, weil ihre Längsrichtung in der krystallographischen Symmetrieebene liegt, die Formel (30) in der Vereinfachung anzuwenden, die sich nach (37) dadurch ergiebt, dass $\Theta' = 0$ ist. Sie lautet so:

$$\iota = \frac{3NLT\left[1+\frac{\Theta''^2}{ET}\left(\frac{D^2}{B^2}+\frac{D^3 f}{B^3}\right)\right]}{D^3 B\left(1+\frac{D}{B}f\right)}$$

Nach (37) ist hierbei, da $\alpha = 0$, $\beta = 1$ ist, $\Theta'' = -s_{14}$; das Einsetzen dieses Werthes und der für E und T hier gültigen ergiebt für die im Zähler neben 1 stehende Klammer etwa 0,0014, es ist daher die Abweichung dieser Formel von der früher benutzten (32) fast zu vernachlässigen. Man kann im Übrigen die Berechnung ebenso wie für die Gattung (90° A I)

[1] Da nur mit der einen Rolle vom Radius 36,63 mm. beobachtet ist, so ist dieser Werth des Hebelarmes bei der Berechnung zu benutzen.

Digitized by Google

anstellen, nur lässt sich $f$ hier nicht aus theoretischen Betrachtungen ableiten.

Man erhält

$$T = 28{,}54 \,.\, 10^{-8} \qquad f = -0{,}691$$

und durch Einsetzen dieses letzteren Werthes in Gleichung (32) für

| | No. 9 | 10 | 11 | 10′ | 11′ |
|---|---|---|---|---|---|
| T = | 28,60 | 28,30 | 28,69 | 28,49 | 28,59. |

Diese Stäbchen haben aber Abweichungen von der vorgeschriebenen Lage, welche noch zur Correction von T benutzt werden müssen. Es ist für Gattung (90° A II) nach Formel (31)

$$\delta T = -4 s_{14} \delta \beta_2 = -4 s_{14} \delta \varphi$$

wenn $\delta\varphi$ die Abweichung der Längsaxe von der Lage normal zur $Z$-Axe bezeichnet.

Nach den p. 109 citirten Beobachtungen hat $\delta\varphi$ für No. 9, 10, 11 resp. den Werth $1^0$, $1{,}5^0$, $1^0$, es ist daher resp. die Correction $+0{,}29$, $+0{,}43$, $+0{,}29$ anzubringen.

Stellt man nach Anbringung der angegebenen Correctionen nunmehr alle auf die Gattungen (90° A I und II) bezüglichen Beobachtungen[1] zusammen, so erhält man folgendes System.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 90° A I. | No. | 1 | T = 28,65 |
| | | 2 | 28,59 |
| | | 3 | 28,51 |
| | | 1′ | 28,76 |
| | | 2′ | 28,41 |
| | | 15 | 28,49 |
| | | 16 | 28,85 |
| | | 17 | 28,75 |
| | | 16′ | 28,75 |
| | | 17′ | 28,73 |
| 90° A II. | No. | 9 | 28,89 |
| | | 10 | 28,73 |
| | | 11 | 28,98 |
| | | 10′ | 28,92 |
| | | 11′ | 28,88 |
| Gesammtmittel | | $T_{90A} = 28{,}725 \,.\, 10^{-8}$, | $T_{90A} = 3481000$ |
| wahrscheinlicher Fehler | | $\pm 0{,}030$, | $\pm 3600$ |

[1] Von den Stäbchen der Gattung (90° A I) sind dabei als sicherer die Werthe benutzt, die mit dem nach der Theorie berechneten $f$ erhalten sind; die andern würden übrigens ein nur unmerklich geändertes Gesammtresultat ergeben.

Digitized by Google

Die Übereinstimmung der Werthe für die Gattungen (90° A I und II) ist eine Bestätigung der Theorie; im Übrigen zeigt sich hier wieder, dass die Schwierigkeit, die Orientirung der Prismen genau zu bestimmen, eine hauptsächliche Fehlerquelle ist, denn die zusammen angefertigten und daher nahezu gleich orientirten Systeme stimmen in sich besser als miteinander überein.

90° B I. No. 18. $L = 34{,}75$, $B = 6022$, $D = 846{,}8$, $A = 5163$, $\vartheta = 18{,}5$.

| | $G$ | $G+20$ | $G+40$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|
| rR. | $\sigma = 21{,}6$ | 65,4 | 109,4 | 1,2 |
| lR. | $\sigma = 20{,}7$ | 64,7 | 108,6 | 2,4 |

$\sigma_{20} = 43{,}95$.

90° B I. No. 19. $L = 31{,}5$, $B = 6019$, $D = 837{,}1$, $A = 5163$, $\vartheta = 18{,}5$.

| | $G$ | $G+20$ | $G+40$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma = 19{,}3$ | 60,7 | 102,2 | 3,0 |
| rR. | $\sigma = 20{,}1$ | 61,3 | 102,4 | 1,0 |

$\sigma_{20} = 41{,}30$.

90° B I. No. 20. $L = 29{,}65$, $B = 6017$, $D = 839{,}1$, $A = 5163$, $\vartheta = 17{,}5$.

| | $G$ | $G+25$ | $G+50$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|
| rR. | $\sigma = 28{,}4$ | 76,7 | 125,2 | 1,5 |
| lR. | $\sigma = 28{,}2$ | 76,5 | 124,9 | 1,8 |

$\sigma_{25} = 48{,}40$.

90° B I. No. 19'. $L = 30{,}75$, $B = 6019$, $D = 476{,}7$, $A = 5163$, $\vartheta = 17{,}5$.

| | $G$ | $G+5$ | $G+10$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|
| lR. | $\sigma = 57{,}9$ | 108,9 | 160,5 | 9,5 |
| rR. | $\sigma = 60{,}2$ | 112,0 | 163,5 | 4,0 |

$\sigma_5 = 51{,}32$.

90° B I. No. 20'. $L = 28{,}65$, $B = 6017$, $D = 475{,}5$, $A = 5163$, $\vartheta = 17$.

| | $G$ | $G+5$ | $G+10$ | $G+15$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|---|
| rR. | $\sigma = 55{,}5$ | 104,3 | 153,2 | 202,1 | 7,0 |
| lR. | $\sigma = 56{,}0$ | 105,0 | 154,0 | 202,5 | 5,8 |

$\sigma_5 = 40{,}86$.

Diese Beobachtungen lassen sich nun zunächst wieder nach Formel (47) berechnen. Man erhält dann

$$T = 18{,}53 \cdot 10^{-8} \qquad f = -0{,}845$$

und bei Einsetzen von diesem $f$ für die einzelnen Stäbchen nach (32) bei

| No. | 18 | 19 | 20 | 19' | 20' |
|---|---|---|---|---|---|
| $T =$ | 18,48 | 18,51 | 18,58 | 18,42 | 18,66 |

Digitized by Google

Man kann aber $f$ auch nach Formel (39) berechnen, wenngleich die Orientirung der Stäbchen etwas von der verlangten abweicht.

Wiederum ergiebt die Theorie, dass nur die Abweichung der Querdimensionen von der vorgeschriebenen Richtung Einfluss besitzt. Die optische Untersuchung ergab dieselben zu $3{,}3^0$ und demgemäss berechnete sich

$$f = -0{,}806,$$

in befriedigender Übereinstimmung mit dem oben erhaltenen Werthe, wenn man die grosse Empfindlichkeit dieser Grösse berücksichtigt. Hieraus würde dann folgen für

| No. | 18 | 19 | 20 | 19′ | 20′ |
|---|---|---|---|---|---|
| T = | 18,60 | 18,63 | 18,70 | 18,48 | 18,73 |

im Mittel $T = 18{,}63 \cdot 10^{-8}$.

Um diese Werthe wegen des Fehlers $\delta\varphi = 3{,}3^0$ zu corrigiren ist 0,97 hinzuzufügen.

Stellt man die so erhaltenen Werthe mit den für die Gattung ($0^0$) gefundenen, welche ihnen nach der Theorie gleich sein sollen, zusammen, so findet sich:

| | | |
|---|---|---|
| $0^0$ | No. 5 | T = 19,80 |
| | 6 | 19,76 |
| | 7 | 19,69 |
| | 8 | 19,71 |
| | 5′ | 19,68 |
| | 6′ | 19,65 |
| | 7′ | 19,69 |
| $90^0$ | BI. No. 18 | 19,57 |
| | 19 | 19,60 |
| | 20 | 19,67 |
| | 19′ | 19,45 |
| | 20′ | 19,70 |

Gesammtmittel $T_{90B} = T_0 = 19{,}665{,}10^{-8}$, $T_{90B} = T_0 = 5085000$

wahrscheinlicher Fehler $\pm$ 0,018, $\pm$ 4700.

### 3. Resultate.

Aus den oben gefundenen Werthen[1]

$E_0 = 9{,}705 \cdot 10^{-8}$ ($\pm$ 0,011) $\quad T_0 = 19{,}665 \cdot 10^{-8}$ ($\pm$ 0,018)

$E_{-45} = 7{,}698 \cdot 10^{-8}$ ($\pm$ 0,006) $\quad T_{90A} = 28{,}725 \cdot 10^{-8}$ ($\pm$ 0,030)

$E_{+45} = 11{,}898 \cdot 10^{-8}$ ($\pm$ 0,006)

$E_{90} = 12{,}734 \cdot 10^{-8}$ ($\pm$ 0,011)

[1] Bei der Beurtheilung der Zuverlässigkeit der erhaltenen Zahlen ist zu berücksichtigen, dass die Fehler der Orientirungen der Prismen in den

Digitized by Google

folgen nach Gleichungen (33)—(38) sogleich die Determinantenverhältnisse $S_{hk}/S = s_{hk}$ nämlich:

$$s_{11} = 12{,}734 \,.\, 10^{-6} \,(\pm\, 0{,}011) \qquad s_{12} = -\,1{,}629 \,.\, 10^{-6} \,(\pm\, 0{,}019)$$
$$s_{33} = \;\;9{,}705 \,.\, 10^{-6} \,(\pm\, 0{,}011) \qquad s_{13} = -\,1{,}486 \,.\, 10^{-6} \,(\pm\, 0{,}015)$$
$$s_{44} = 19{,}665 \,.\, 10^{-6} \,(\pm\, 0{,}018) \qquad s_{14} = -\,4{,}230 \,.\, 10^{-6} \,(\pm\, 0{,}010)$$

Dabei ist der wahrscheinliche Fehler jeder Zahl gleich der Wurzel aus der Summe der wahrscheinlichen Fehlerquadrate ihrer Theile nach den Formeln gesetzt, die aus (33)—(38) durch Auflösung nach den $s_{hk}$ folgen.

Durch Einsetzen dieser Werthe ergiebt sich der allgemeine Ausdruck für den Dehnungscoëfficienten E in einer durch die Richtungscosinus $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ bestimmten Richtung[1]

$$E = 12{,}734 \,.\, (1-\gamma^2)^2 + 16{,}693 \,.\, (1-\gamma^2)\gamma^2 + 9{,}705 \,.\, \gamma^4 - 8{,}460 \,.\, \beta\gamma\,(3\alpha^2 - \beta^2)$$

Für Richtungen, die in der Symmetrieebene liegen, erhält man, wenn man ihren Winkel gegen die $z$-Axe mit $\varphi$ bezeichnet:

$$E = 12{,}734 \,.\, \sin^4\varphi + 16{,}693 \,.\, \sin^2\varphi\cos^2\varphi + .\, 9{,}705\cos^4\varphi + 8{,}460 \,.\, \cos\varphi\sin^3\varphi\,.$$

In dieser Ebene hat E Maxima oder Minima in den vier Richtungen:

$$\varphi_{\mathrm{I}} = -\,48^0\,15', \quad \varphi_{\mathrm{II}} = 0^0, \quad \varphi_{\mathrm{III}} = 10^0\,50', \quad \varphi_{\mathrm{IV}} = 71^0\,35'.$$

Die Maximal- und Minimalwerthe, die diesen Richtungen entsprechen, sind:

$$E_{\mathrm{I}} = 7{,}634 \,.\, 10^{-6}; \quad E_{\mathrm{II}} = E_0 = 9{,}705 \,.\, 10^{-6}; \quad E_{\mathrm{III}} = 9{,}671 \,.\, 10^{-6};$$
$$E_{\mathrm{IV}} = 14{,}191 \,.\, 10^{-6}.$$

Für die Richtungen, welche eine Ebene, die zur Symmetrieebene normal steht, erfüllen, gilt:

$$E = 12{,}734 \,.\, \sin^4\varphi + 16{,}693 \,.\, \sin^2\varphi\cos^2\varphi + 9{,}705 \,.\, \cos^4\varphi.$$

Unter diesen ergiebt einen kleinsten Werth für E

$$\varphi = \pm\, 29^0\,6' \text{ nämlich } E = 9{,}384.$$

Während bei Beryll das Minimum sehr nahe bei $\varphi = 45^0$ liegt, weicht es bei Bergkrystall von dieser Lage sehr erheblich ab; dies lässt im Voraus vermuthen, dass hier die Poisson'sche Relation (42) auch nicht angenähert erfüllt sein wird.

---

angegebenen „Wahrscheinlichen Fehlern" nur zum kleinsten Theil enthalten sind. Die letzten angegebenen Stellen der Resultate haben daher wenig Werth.

[1] In den Formeln für E und T ist der jedem Zahlenfactor beizufügende Coëfficient $10^{-6}$ unterdrückt.

Digitized by Google

Der Torsionscoëfficient T, welcher allerdings nicht allein, aber doch in hervorragender Weise die Grösse der Drillung bestimmt, wird im Allgemeinen

$$T = 19{,}665 + 9{,}060\,.\,\gamma_2^2 + 22{,}984\,.\,\gamma^2\gamma_1^2 - 16{,}920\,[(\gamma\beta_1 + \beta\gamma_1)(3\alpha\alpha_1 - \beta\beta_1) - \beta_2\gamma_2]$$

Liegt die Längsrichtung und die grössere Querdimension in der krystallographischen Symmetrieebene, so ist

$$\alpha = \alpha_1 = 0, \quad \alpha_2 = 1, \quad \beta_2 = \gamma_2 = 0$$

also falls man

$$\gamma = \cos\varphi = \beta_1, \quad \beta = \sin\varphi = +\gamma_1 \text{ setzt:}$$
$$T = 19{,}665 + 5{,}746\,.\,\sin^2 2\varphi + 8{,}460\,.\,\sin 2\varphi\cos 2\varphi.$$

Hiernach wird T nicht geändert, wenn $\varphi$ um $90^0$ wächst, es ist also auch für $+45^0$ und $-45^0$ gleich gross, und zwar gleich $25{,}411\,.\,10^{-8}$. Dies ist ein specieller Fall eines entsprechenden allgemeinen Satzes über die Unveränderlichkeit von T bei einer Verschiebung des Prismas um $90^0$ in der Ebene der grösseren Querdimension, den ich in einem Zusatz zu dieser Abhandlung beweisen werde.

Maxima und Minima von T treten ein für

$$\varphi = 31^0\,3' \text{ und } \varphi = 76^0\,3'$$
$$= 121^0\,3' \qquad = 166^0\,3',$$

ihre Werthe sind respective

$$T = 27{,}652\,.\,10^{-8}, \qquad T = 17{,}424\,.\,10^{-8}.$$

Liegt die Längsrichtung und die kleinere Querdimension in der Symmetrieebene, so ist:

$$\alpha = \alpha_2 = 0, \quad \alpha_1 = 1, \quad \beta_1 = \gamma_1 = 0,$$

also falls man wieder setzt:

$$\gamma = \cos\varphi = -\beta_2, \quad \beta = \sin\varphi = +\gamma_2 \text{ gilt:}$$
$$T = 19{,}665 + 9{,}060\,.\,\sin^2\varphi - 8{,}460\,.\,\sin 2\varphi.$$

Hier finden sich Maxima und Minima für

$$\varphi = 30^0\,55' \qquad \varphi = 120^0\,55';$$

ihre Werthe sind:

$$T = 14{,}600\,.\,10^{-8} \qquad T = 33{,}791\,.\,10^{-8}.$$

Für $\varphi = +45^0$ folgt $T = 15{,}735\,.\,10^{-8}$, für $\varphi = -45^0$, $T = 32{,}655\,.\,10^{-8}$.

Endlich ist noch von Interesse wegen der Beobachtungen diejenige Orientirung, bei welcher die Längsaxe in die Nor-

Digitized by Google

male zur Symmetrieebene fällt, d. h. $\alpha = 1$, also $\alpha_1 = \alpha_2 = \beta = \gamma = 0$. Hier folgt, wenn man den Winkel der grösseren Querdimension mit der $Z$-Axe durch $\varphi$ bezeichnet, also $\gamma_2 = \sin\varphi$, $\beta_2 = -\cos\varphi$ setzt:

$$T = 19{,}665 + 9{,}060 \cdot \sin^2\varphi - 8{,}460 \cdot \sin 2\varphi.$$

Diese Formel ist identisch mit der letztvorhergehenden, in Übereinstimmung mit dem eben citirten allgemeinen Satz, dass bei Drehung eines Prismas um 90° um die kleinere Querdimension sich der Drillungscoëfficient nicht ändert.

Die gefundenen Werthe der Determinantenverhältnisse $s_{kk}$ bestimmen auch nach den Formeln (43)—(45) die Grösse der Deformation eines beliebig gestalteten Stückes eines Bergkrystalles bei allseitig gleichem Druck. Man hat dann:

$$z_z = -pA_0, \qquad x_x = y_y = -pA_{90}$$

worin

$$A_0 = 2s_{13} + s_{33} \qquad A_{90} = s_{11} + s_{12} + s_{13}$$

die Coëfficienten der Compression parallel und normal zur Hauptaxe sind. Der Coëfficient der cubischen Compression ist

$$M = A_0 + 2A_{90}.$$

Für Bergkrystall findet sich:

$$A_0 = 6{,}73 \cdot 10^{-8} \quad A_{90} = 9{,}62 \cdot 10^{-8} \quad M = 25{,}97 \cdot 10^{-8};$$

der letztere Werth ist etwa ein Zwanzigstel des für Wasser gültigen. Die Winkeländerung bei allseitigem Druck hängt allein ab von dem Coëfficienten

$$B = s_{13} + s_{33} - s_{11} - s_{12};$$

derselbe hat für Bergkrystall den Werth:

$$B = -2{,}856 \cdot 10^{-8},$$

übertrifft also den für Beryll gültigen Werth um das Vierfache, hat überdies das entgegengesetzte Vorzeichen, was damit zusammenhängt, dass hier $A_{90} > A_0$, dort $A_0 > A_{90}$ ist.

Die thermischen lineären Ausdehnungscoëfficienten für Bergkrystall sind nach Fizeau:

$$a_0 = 0{,}781 \cdot 10^{-5} \qquad a_1 = 1{,}419 \cdot 10^{-5}.$$

Setzt man sie in die Gleichungen (81) ein, so erhält man:

$$\begin{aligned} 781 &= -q_1 \cdot 2{,}972 + q_0 \cdot 9{,}705 \\ 1419 &= q_1 \cdot 11{,}105 - q_0 \cdot 1{,}486 \end{aligned}$$

und hieraus folgt:

$$q_0 = 124{,}8, \qquad q_1 = 143{,}9,$$

Digitized by Google

beide Werthe, welche, wie erwähnt, die Wärmeabstossung parallel und normal zur Hauptaxe messen, untereinander wenig verschieden, aber die für Beryll gefundenen Zahlen ausserordentlich überragend.

Schliesslich sind noch nach den Formeln (76) die eigentlichen Elasticitätsconstanten $c_{hk}$ für Bergkrystall zu berechnen. Die Resultate sind:

$$c_{11} = 8{,}682 \cdot 10^6 \qquad c_{12} = 0{,}709 \cdot 10^6$$
$$c_{33} = 10{,}745 \cdot 10^6 \qquad c_{13} = 1{,}438 \cdot 10^6$$
$$c_{44} = 5{,}823 \cdot 10^6 \qquad c_{14} = 1{,}715 \cdot 10^6$$

Dabei ist zu bemerken, dass diese Zahlen wesentlich unsicherer sind, als die für die Anwendung zunächst in Betracht kommenden Determinantenverhältnisse $s_{hk}$, da sie gegen Änderungen der direct beobachteten Grössen sehr empfindlich sind. Sie setzten, wie im Eingang erwähnt, ein Coordinatensystem voraus, dessen $Z$-Axe in die krystallographische Hauptaxe, dessen $YZ$-Ebene normal zu einer Fläche $+R$ steht, so dass die positive $Y$-Axe aus derjenigen Fläche austritt, in deren einer Ecke auch die positive $Z$-Axe den Krystall verlässt.

An die Poisson'schen Relationen

$$c_{13} = c_{44} \qquad c_{11} = 3c_{12}$$

findet sich auch nicht einmal eine Annäherung; man wird also die Moleküle des Bergkrystalls mit sehr starker Polarität versehen denken müssen.

Zusatz I. In einer mir nach Vollendung der Beobachtungen am Beryll zugegangenen Abhandlung von Herrn H. Vater[1] ist das Beobachtungsresultat mitgetheilt, dass die Zuwachse der Biegungen beim Beryll mit wachsender Belastung sehr schnell abnehmen. Die aus einer Belastung mit ca. 180 gr. und durch Zufügung von resp. ca. 60 und noch 50 gr. erhaltenen Werthe sollten abnehmen wie 1000 : 774 : 688. Ich hatte bei meinen Beobachtungen nichts dergleichen bemerkt, um aber ganz sicher zu gehen, ersuchte ich Herrn Dr. Hennig ein Beryllstäbchen noch einmal bei einer Belastung von 30, 60 und 90 gr. zu beobachten; letztere Belastung, auf ein

[1] Habilitationsschrift, abgedruckt in diesem Jahrbuch 1886.

Digitized by Google

dünnes und schmales Stäbchen ausgeübt, dürfte eine noch grössere Spannung hervorgerufen haben, als Herr Vater sie angewandt hat.

Die Resultate waren (Sicherheit 0,5 Theile):

| für $P$ = | 30 | 60 | 90 g |
|---|---|---|---|
| 1. Lage $\eta$ = | 69,3 | 139,5 | 210,0 |
| 2. Lage $\eta$ = | 69,9 | 140,5 | 210,9 |
| Mittel $\eta$ = | 69,6 | 140,0 | 210,4 |
| $\eta_{iso}$ = | 69,6 | 70,0 | 70,1 |

Sie zeigen nichts von dem, was Herr Vater beobachtet hat, und es ist daher die Vermuthung gestattet, dass die Sprünge in seinen Präparaten, welche nach seiner Angabe bei mehreren mit der Zeit wachsende Biegungen und ein vorzeitiges Zerbrechen veranlasst haben, auch diese Anomalie hervorgerufen haben. Wenn diese sich nämlich zufällig in überwiegender Zahl auf der oberen Fläche des Präparates gefunden haben, so muss die Biegung bei kleinen Belastungen offenbar einen kleineren Widerstand gefunden haben als bei grösseren, da sich dann die Öffnungen der Spalten beim Biegen allmählich schliessen. Bei dem von mir benutzten vorzüglichen Material dürften derartige Übelstände nur selten stattgefunden haben.

Zusatz II. In der folgenden Figurentafel ist ein Theil der für Beryll und Bergkrystall erhaltenen Resultate anschaulich dargestellt[1].

Fig. I giebt für Beryll durch die mit E bezeichnete Curve die Abhängigkeit des Dehnungs- oder Biegungs-Coëfficienten von der Neigung gegen die Krystallaxe ($Z$). Die mit $T_1$ und $T_2$ bezeichneten Curven stellen die Änderung des Drillungscoëfficienten dar, wenn man entweder die grössere oder die kleinere Querdimension des Prismas senkrecht zur Krystallaxe belässt und die Längsrichtung in einem Hauptschnitte dreht. Nach dem oben erwähnten Satz giebt dann die Curve $T_1$ zugleich die Änderung, welche der Drillungscoëfficient erleidet, wenn man die Drehungsaxe senkrecht zur Krystallaxe wählt, aber die Lage der grösseren Querdimension durch Drehen des

[1] Die dargestellten Curven sind nicht sehr genau ausgefallen.

Digitized by Google

Prismas um die Längsaxe ändert. Die zur Construction benutzten Zahlwerthe sind auf Seite 84 und 85 enthalten.

Fig. II bezieht sich auf das elastische Verhalten des Bergkrystalls; wegen der hier viel complicirteren Verhältnisse musste die Darstellung noch unvollständiger ausfallen, als für Beryll. Die Curven $E_1$ und $E_2$ geben den Verlauf der Dehnungscoëfficienten in der krystallographischen Symmetrieebene und dem dazu normalen Hauptschnitt (der *YZ*- und *XZ*-Ebene). In letzterem findet sich Symmetrie in Bezug auf die Krystallaxe, im ersteren nicht. Die Curven $T_1$ und $T_2$ geben das Verhalten des Drillungscoëfficienten an, wenn man die grössere oder kleinere Querdimension in eine Nebenaxe (*X*) legt und die Längsrichtung durch Drehung um dieselbe in der Symmetrieebene verschiebt. Die Curve $T_1$ giebt dann noch zugleich den Verlauf des Drillungscoëfficienten für ein mit der Längsrichtung in die *X*-Axe fallendes Prisma, wenn die grössere Querdimension alle möglichen Lagen annimmt; sie zeigt eine ganz unerwartet grosse Veränderlichkeit von T mit der Orientirung.

Die zur Construction benutzten Zahlen finden sich Seite 120 bis 122.

Die Figur für Beryll ist im doppelten Maassstab gezeichnet wie die für Bergkrystall.

Da die Biegungen (oder Dehnungen) und Drillungen mit den Coëfficienten E und T proportional sind, so geben die mitgetheilten Curven auch direct Aufschluss über das Verhalten dieser Grössen.

Digitized by Google

# Ueber den Meteorit von Karang-Modjo oder Magetan auf Java.

Von

**J. Bosscha** jun. in Breda.

Mit Tafel III a—V.

Das Leidener Museum besitzt einen schönen Meteoriten, welcher in der Sammlung als Meteorit von Magetan bezeichnet ist. Hr. MARTIN veranlasste mich, ihn näher zu untersuchen und übergab mir dazu ein Stück von 30,95 gr., gleichzeitig einen Gypsabguss sowie auch einige Zeichnungen, von Hrn. WENDEL verfertigt, welche sehr genau das Äussere des Meteoriten darstellen.

Der Meteorit ist am 3. October 1883 bei Karang-Modjo im District Keniten, im Kreise Magetan, Residenz Madiun auf der Insel Java gefallen; an demselben Tage fiel in derselben Residenz der Meteorit von Ngawi[1]; es ist also sehr wahrscheinlich, dass beide zu demselben Fall gehören. Der Meteorit von Karang-Modjo gleicht demjenigen von Ngawi, welcher sich ebenfalls im Besitz des Leidener Museums befindet, auf das genaueste in allen Eigenschaften. Der Stein wog 1191.1 gr. Die in zwei Drittel natürlicher Grösse ausgeführten Zeichnungen von WENDEL findet man auf Taf. III a.

Durch Wiegen unter Wasser wurde als specifisches Gewicht gefunden 3,34. Ich beobachtete dabei ebenso wie Hr. LORENTZ[2], dass der Meteorit sehr porös ist und viel

[1] Vgl. E. H. VON BAUMHAUER: Sur la Météorite de Ngawi tombée etc. (Archives Néerland. XIX, 177.)

[2] Archives Néerl. l. c.

Digitized by Google

Wasser aufnimmt. Beim Eintauchen in Wasser wird viel Luft ausgetrieben. Das spec. Gew. des Meteoriten von Ngawi ist nach Hrn. LORENTZ 3.11, in Bezug auf das Gesammtvolumen 3.45, nachdem man mittelst der Luftpumpe die Luft grösstentheils beseitigt hatte. v. BAUMHAUER fand als spec. Gew. der pulverisirten Masse 3.561. Die Differenzen dieser Ziffern unter sich und mit den meinigen erklären sich aus den verschiedenen Methoden, die angewendet sind. Ich zweifle nicht, dass ich mittelst der Luftpumpe ein grösseres Volumen Luft hätte austreiben können.

Die lithographische Tafel in v. BAUMHAUER's Arbeit, auf der ein Durchschnitt des Meteoriten von Ngawi dargestellt ist, zeigt, dass auch die makroskopische Structur durchaus derjenigen des Meteoriten von Karang-Modjo ähnlich ist. Auf dem Bruch sieht man, dass auch die meisten Chondren mit durchgebrochen sind, ausser einigen ganz schwarzen, die unversehrt geblieben sind. Deshalb glaube ich, dass die Benennung Kügelchenchondrit, Ornansit, unter welche Abtheilung ihn BREZINA[1] allerdings mit einem Fragezeichen stellt, da er den Stein nur aus v. BAUMHAUER's Beschreibung kennt, nicht zutreffend ist. Es wäre vielleicht besser, ihn einfach Kügelchenchondrit oder intermediären Chondrit zu nennen.

Ich habe es nicht für nothwendig gehalten, alle Analysen nochmals zu machen, nachdem ich für Schwefel, Eisen und Nickel Resultate erhalten hatte, die mit v. BAUMHAUER's Ziffern ziemlich genau übereinstimmen; vielmehr war es meine Absicht, diesen Meteorit mikroskopisch und mikrochemisch näher zu untersuchen.

Es ist mir gelungen, von diesem sehr schwierig zu schleifenden Material[2] mehrere Dünnschliffe herzustellen.

Da die dabei gemachten Erfahrungen auch Anderen von Nutzen sein können und mich zu Beobachtungen veranlasst haben, die mir wichtig scheinen, werde ich die angewendete Methode beschreiben. Man beginnt damit, eine dünne Platte

[1] A. BREZINA: Die Meteoriten-Sammlung des k. k. mineralogischen Hofkabinetes in Wien am 1. Mai 1885. (Jahrb. geol. Reichsanst. 1885, **35**, 151.)

[2] Arch. Néerl. XIX, 81 u. 82.

Digitized by Google

aus dem Meteorit herauszusägen und schleift diese mittelst feinsten Schmirgels und Wasser oder Petroleum auf einer Spiegelglasplatte. Einige Theile werden dabei schon mehr oder weniger polirt, hauptsächlich: Nickeleisen, die Chondren, welche theilweise aus Glas bestehen, Enstatit und Olivin. Einige weisse Chondren, sowie die Grundmasse bleiben matt.

Nachdem man nun mit sehr feinem Schmirgel eine Seite angeschliffen hat, bedeckt man das Präparat mit einem Deckglase und lässt eine Lösung von Canadabalsam in Chloroform zwischen Präparat und Deckglas von einer Seite capillar aufsaugen. Das Unangenehme dabei ist, dass man das Präparat so lange liegen lassen muss, ohne es zu berühren, bis der Canadabalsam genügend erhärtet ist. Die beste, von Pearcey angegebene Methode[1] jedoch besteht darin, dass man vor dem Anschleifen der zweiten Seite einen ziemlich harten und zähen Körper in alle Zwischenräume aufsaugen lässt. Für meinen speciellen Zweck habe ich dieselbe noch etwas vereinfacht. Pearcey bereitet erst eine Lösung von Copalgummi in Äther. Zu diesem Zwecke lässt er 8 Theile Gummi mit 20 Theile reinem Äther digeriren unter öfterem heftigem Umschütteln mit einigen Granaten, um die schleimige, unlösliche Masse zu vertheilen. Nachdem diese sich abgesetzt hat, wird die klare Lösung auf die zu präparirende Platte aufgetragen und durch Erhitzen der Äther ausgetrieben. Ich ziehe vor, den Copalgummi ohne weiteres zu benutzen. Hierzu wird die Platte mit der angeschliffenen Seite nach oben in einen auf ungefähr 125° erhitzten Trockenschrank gelegt und mit kleinen Stückchen Copalgummi, welche man von der äusseren gewöhnlich gelblichen Rinde gereinigt hat, bedeckt. Bei dieser Temperatur schmilzt der Copalgummi und füllt alle Risse aus. Vor dem vollständigen Erkalten nimmt man mit einem Messer den zurückgebliebenen Copalgummi grösstentheils fort und reinigt schliesslich das Präparat mit einem Schwämmchen, welches man mit ein wenig Äther befeuchtet hat. Das so vorbereitete Präparat wird darauf auf ein reines Objectglas durch Canadabalsam festgekittet und dünn geschliffen. Durch aufgeklebte Stückchen Deckglas schützt man die Ecken des

[1] F. G. Pearcey: Proc. Roy. Soc. Edinburg 1885, VIII, 295—300 (Journ. Roy. Microscop. Soc. Ser. II, Vol. VI, 160.)

Digitized by Google

Glases. Nachdem man das Präparat dann gereinigt hat, kann man einen Tropfen ziemlich dicken Canadabalsams auftragen und ein Deckglas aufdrücken, ohne befürchten zu müssen, das Präparat zu verlieren[1].

Hr. Behrens war so freundlich einige der interessantesten Theile zu photographiren. Taf. IV und V sind Lichtdrucke nach diesen Photographien. Taf. IV Fig. 4 zeigt sehr gut die allgemeine Structur des Meteoriten.

Der grösste Theil besteht aus mehr oder weniger runden Olivin- und Enstatit-Chondren. Dazwischen bemerkt man eckige Stücke derselben Mineralien und auch, obschon selten, Krystalle, die ihre scharfen Umrisse behalten haben. Bisweilen sind sie ganz geblieben, soweit man nach dem Durchschnitt urtheilen kann (Taf. IV Fig. 2; Taf. V Fig. 7); bisweilen sind es auch nur Bruchstücke, wie der zerbrochene Olivinkrystall Taf. V Fig. 5. Ausser diesen durchscheinenden Mineralien beobachtet man bei auffallendem Lichte noch gerundete und scharfeckige Stückchen Troilit und Nickeleisen.

Die Grundmasse ist schwarz und undurchsichtig, aber in ihr steckt eine so grosse Zahl von Krystallsplittern, dass das Ganze hierdurch eine graue Farbe bekommen hat. Nur die grössten Splitter durchsetzen die ganze Dicke des Präparates und an ihrer Doppelbrechung erkennt man ihre krystallinische Beschaffenheit. Die kleineren Splitter lassen sich nur bei starker Vergrösserung und auffallendem Lichte wahrnehmen. Es scheint, dass v. Baumhauer die schwarze Grundmasse als Schwefeleisen betrachtet. Obgleich dieselbe unter dem Mikroskop viel mehr als 5.71 % wie es die Analyse verlangt, zu bilden scheint, könnte man beim Schätzen einen Fehler machen wegen der Undurchsichtigkeit des Troilites. Da aber Tschermak eine ähnliche Masse als glasartig beschrieben hat, schien es mir nöthig, dieses näher zu untersuchen. Unglücklicher Weise ist die mikroskopische Unter-

[1] Diese Methode eignet sich auch für Präparate von pulverförmigen Materialien, wie vulkanische Asche. Man braucht diese nur in geschmolzenem Copalgummi einzurühren und abkühlen zu lassen. Sobald die Masse zähe wird, gibt man ihr eine geeignete Form, indem man sie zu einer Kugel formt, die man flachdrückt. Ist diese vollständig hart, so schleift man wie gewöhnlich.



Digitized by Google

suchung der Grundmasse eine der schwierigsten, da man das Präparat nicht genügend dünn machen kann, um bei durchfallendem Lichte zu arbeiten und die geringe Focaldistanz der Objective eine starke Vergrösserung bei auffallendem Lichte nicht zulässt. An den allerdünnsten Stellen, an denen die Grundmasse keilförmig über einem Krystall liegt, gleicht sie zerrissenen Stücken einer schwarzen Masse und erinnert an die Eisenoxydeinschlüsse gewisser Quarzvarietäten. Um zu untersuchen, ob diese Masse Troilit oder Nickeleisen ist, habe ich folgenden Versuch angestellt.

Eine Lösung von Brom in Wasser, der man ein wenig Natriumcarbonat hinzugefügt hat, um zu verhüten, dass sich Bromwasserstoff bilde, löst schnell, selbst wenn kalt angewendet, Eisen, sowie Schwefeleisen, aber zersetzt selbst sehr basische Silikate nicht. Olivin, mehrere Stunden mit dieser Flüssigkeit digerirt, hatte nicht das Geringste an Gewicht verloren. Als eine dünne Platte des Meteoriten mit der Bromlösung bedeckt wurde, entfärbte sie sich bald in Folge der Einwirkung des Eisens und des Schwefeleisens, die sich auflösen. Wenn man zu viel Natriumcarbonat zugesetzt hat, bleibt hierbei ein basisches Eisenoxydsalz zurück, welches man durch eine mit Natriumcarbonat neutralisirte Lösung von Eisenchlorid entfernen kann, am besten bei ca. 30°. Auch diese Lösung ist ohne Einwirkung auf Olivin. Man kann auch sehr gut beide Lösungen gleichzeitig anwenden. Nachdem man einige Male neue Lösung aufgetragen hat, entfärbt letztere sich nicht mehr, allein der Dünnschliff hat Löcher bekommen, dort, wo Eisen und Troilit gewesen sind und wo die anderen Mineralien sich vom Canadabalsam abgelöst haben. Letzterer wird vom Brom etwas verändert. Die übrigen Gemengtheile des Meteoriten sind aber unverändert geblieben. Die schwarze Masse kann also weder Troilit noch Eisen sein.

Troilit habe ich nur in gerundeten und scharfeckigen Körnern angetroffen, welche von der Grundmasse scharf abgegrenzt waren und im auffallenden Lichte an ihrem metallischen Glanze zu erkennen waren. Durch die Bronzefarbe und die eigenthümliche Structur lassen sie sich sehr gut vom Nickeleisen unterscheiden. Troilit sieht genau so aus, wie

Digitized by Google

das gewöhnliche geschmolzene Schwefeleisen, wenn man es angeschliffen hat. In einem meiner Präparate fand ich ein rechteckiges Stückchen Troilit von 1.0 bei 0.9 mm. Kantenlänge. Als Einschluss in anderen Mineralien oder in Chondren habe ich ihn nicht angetroffen.

Nickeleisen ist weisser als Troilit, hat eine viel feinere Structur und enthält oft zahlreiche schwarze Einschlüsse, vielleicht Glas. Man findet es durch die ganze Masse des Meteoriten eingesprengt, bisweilen in abgerundeten, oft aber in scharfeckigen Stückchen. In Gestalt kugelförmiger Einschlüsse kommt es in den porphyrischen, besonders aber in den Olivin-Chondren vor, auch umhüllt es oft die Enstatit- und Olivin-Chondren.

Das Glas ist nur an den allerdünnsten Stellen dunkelbraun durchsichtig. Es findet sich hauptsächlich in der Rinde und bildet die Grundmasse der porphyrischen Chondren. Oft umschliesst es Olivinchondren und findet sich alsdann in zahlreichen Einschlüssen, hauptsächlich in den äusseren Theilen, auch füllt es oft die Risse im Olivin (Taf. IV Fig. 8). Im Olivin trifft man auch noch farblose Glaseinschlüsse (vergl. S. 132).

Die porphyrischen Chondren sind recht verschieden. Sie bestehen aus eckigen Stücken jener Mineralien, die den Meteoriten zusammensetzen, in einer schwarzen Grundmasse. Bisweilen herrscht die Grundmasse vor, bisweilen findet man sie nur in dünnen Häutchen, welche die anderen Gemengtheile verkitten. Eine wichtige Thatsache ist die verschiedene Beschaffenheit des Eisens in verschiedenen Chondren. Man findet es in zwei Formen: in scharfeckigen Stücken, welche ohne Zweifel als solche in die geschmolzene Masse gelangt sind, und als eine Masse, welche die Zwischenräume der anderen Mineralien ausfüllt und um diese Form anzunehmen, nothwendig geschmolzen gewesen sein muss. Daraus folgt, dass die Umstände, hauptsächlich die Temperatur, unter denen diese Chondren entstanden sind, verschiedene gewesen sind, d. h. dass der Meteorit von Magetan nicht aus einem einzigen Gusse entstanden ist, sondern dass die Chondren einzeln und entfernt von einander gebildet sind.

Der Olivin stellt oft für sich allein Chondren dar. Nur



Digitized by Google

selten fehlt er in den Chondren vollständig; meistens begegnet man ihm in scharfeckigen oder gerundeten Einschlüssen oder zwischen Enstatitkrystallen. Ein grosser Theil des Mineralstaubes in der Grundmasse besteht aus Olivin. Wie bemerkt, findet man ihn hier auch in ganzen Krystallen. Die geschichteten Einschlüsse, welche so oft in meteorischen Olivinen beobachtet wurden, sind auch in diesem Meteoriten nicht selten; ich habe sogar zwei Arten gefunden. Die erste (Taf. V Fig. 7) besteht aus einer undurchsichtigen Substanz, welche sich bei auffallendem Lichte weiss aus der übrigen Masse hervorhebt. Stellt man zwischen gekreuzten Nicols den Olivinkrystall auf dunkel ein, so leuchten die Umrisse des Einschlusses schwach hervor, was vielleicht durch innere Spannungen verursacht wird. Die geschichteten Bänder sind mit einer der Elasticitätsaxen im Olivin parallel. Die zweite Art kann man erst mittelst stärkerer Vergrösserung wahrnehmen. Bei geringer Vergrösserung sieht man nur einen dunkelbläulichen Fleck. Bei starker Vergrösserung wird die Structur deutlich sichtbar (Taf. IV Fig. 1). Die Substanz dieses Einschlusses habe ich nicht bestimmen können; vielleicht ist es Glas[1]. Ausserdem findet man noch farblose Einschlüsse, die oft eine rechteckige Form annehmen. Sie besitzen eine unbewegliche Libelle und bisweilen gleichzeitig ein schwarzes Kügelchen, dessen relative Grösse in den verschiedenen Einschlüssen sehr verschieden ist (Taf. IV Fig. 2). Dieselbe Erscheinung ist neuerdings schon von Hrn. H. Reusch beschrieben[2], er hat einen rechteckigen Einschluss abgebildet. Ich habe aber den in dem Meteoriten von Karang-Modjo häufigeren Fall eines unregelmässigen gewählt.

Enstatit und Bronzit bilden Chondren. Bisweilen sind die Krystalle ziemlich gross und liegen unregelmässig durch einander, bisweilen sind sie lang und dünn und zu

---

[1] An einer anderen Stelle habe ich gezeigt, wie Einschlüsse durch wiederholte Temperaturveränderungen eine Form annehmen können, welche mit der äusseren Form des Krystalles, in welchem sie vorkommen, in Zusammenhang steht. (Sur les inclusions de certains quartz des porphyres. Ann. de l'éc. polytechn. de Delft. 1885, I, 170.)

[2] H. Reusch, Über den Tysnesmeteorit und drei andere in Skandinavien niedergefallene Meteorsteine. (Dies. Jahrb. Beil.-B. IV. 481, Taf. XI.)

Digitized by Google

fächerförmigen Bündeln vereinigt. Einmal beobachtete ich ein Chondrum, welches aus einem Krystalliten dieses Minerals bestand, ein Fall, der, so weit mir bekannt, noch nicht beschrieben ist (Taf. IV Fig. 3). Der grösste Theil des Chondrums besteht aus dem Krystalliten, welcher besonders auf der rechten Seite der Figur gut ausgebildet ist und der Form nach mit den Magneteisenkrystalliten aus gewissen Basalten und eisenreichen Schlacken Ähnlichkeit hat. An der linken Seite der Figur bemerkt man einen kleinen Theil von abweichender Structur, der alle Eigenschaften des Olivins besitzt; am besten nimmt man ihn im polarisirten Lichte wahr, wo seine lebhaften Farben sich scharf abgrenzen gegen den blassen Schein des Enstatitkrystallites. Zwischen gekreuzten Nicols ist letzterer dunkel, sobald die Nicolhauptschnitte mit den in der Figur sichtbaren Wachsthumsrichtungen zusammenfallen. Die schwarze Masse, welche das Ganze umgiebt, besteht hauptsächlich aus Nickeleisen; sparsam ist schwarzes Glas, welches in äusserst dünnen Lamellen in den Krystallit eindringt und ihn bräunlich gelb färbt. Man nimmt oft an, dass dergleichen Krystalliten durch schnelles Krystallisiren entstehen. Doch kann auch das Lösungsmittel die Ursache sein [1]. Ein Chondrum, wie das hier beschriebene, ist auch ein Beweis gegen die Entstehung durch Abreibung.

Taf. IV Fig. 4 stellt eine Erscheinung dar, welche in meinen Präparaten nicht selten ist, obgleich sie sich nicht immer so schön zeigt. Es ist ein Chondrum, welches zu gleicher Zeit an zwei Stellen zu krystallisiren begonnen hat, und in welchem sich die beiden Krystallbündel durchkreuzen. Dasselbe Chondrum zeigt auch die schon oft beobachtete Erscheinung, dass ein fremder Körper, häufig selbst ein Chondrum, in ein anderes Chondrum eindringt. Hier ist es ein gebrochenes, wenig durchscheinendes Chondrum mit einem runden schwarzen Einschluss, welchen man unten rechts in der Figur sieht. Beide Beobachtungen machen die Annahme unmöglich, dass solche Chondren zu vergleichen wären mit

[1] So krystallisirt Chlorammonium aus der Lösung in Wasser immer in Krystalliten. Ich habe beobachtet, dass Bleinitrat sich ähnlich verhält, wenn man der warmen Lösung so viel Alcohol zusetzt, dass ein Präcipitat zu entstehen beginnt.

Digitized by Google

Sphärolithen oder Vogelsang's Belonosphäriten, wie man sie in natürlichen und künstlichen Gläsern, Obsidian und entglasten Resten aus Glasschmelztiegeln, sowie auch in dem bekannten Kugeldiorit aus Corsica findet. Auf diese Weise würde man nur das Entstehen gewisser Chondren, nämlich der radialstrahligen, erklären können. Bei den monosomatischen Olivinchondren würde diese Erklärung nicht zutreffen, noch weniger bei den porphyrischen Chondren. Man müsste sich also Körper, die wenigstens äusserlich so viel Ähnlichkeit mit einander haben, auf zwei verschiedenen Wegen entstanden denken.

Der Enstatit ist reich an merkwürdigen Formen, welche einiges Licht in die Frage nach der Entstehung der Chondren bringen können. Ein schönes Beispiel ist in Taf. V Fig. 6 dargestellt. Der Schnitt ist genau durch das Centrum gegangen, welches aus einer kleinen gerundeten Enstatitmasse besteht und wie ein kleines, in das grössere eingesunkenes Chondrum aussieht. Es hat allen Anschein, als ob das grössere Chondrum ein in Überschmelzung befindlicher Tropfen gewesen wäre und als ob das kleinere, schon fest beim Berühren in dem grösseren ein schnelles Krystallisiren veranlasst habe. Hr. Tschermak[1] hat ein Zwillingschondrum abgebildet, welches mir auf dieselbe Weise entstanden zu sein scheint. Hier sind es zwei Olivinchondren, die sich nur eben berühren; beide zusammen sind monosomatisch. Vielleicht könnte Fig. 3 Taf. XV a. a. O. auf dieselbe Weise gedeutet werden. Das feste Chondrum ist hier aber ganz in die Masse des flüssigen eingedrungen, welches von da aus krystallisirt ist. Auch erscheint es mir wahrscheinlich, dass der ziemlich allgemeine Fall, wo ein Chondrum eine anders gefärbte oder anders zusammengesetzte Hülle hat[2], ebenfalls aus dem Zusammentreffen von einem festen mit einem flüssigen Chondrum erklärt werden muss. Ein ähnlicher Fall ist die Erscheinung, dass zwei Chondren sich durchsetzen[3].

[1] G. Tschermak: Die mikroskopische Beschaffenheit der Meteoriten. Stuttgart 1884, Taf. IX, Fig. 4.

[2] Vgl. Tschermak a. a. O. Taf. XI, Fig. 1—3; Taf. XIX, Fig. 3 und Taf. VI, Fig. 5 dieser Abhandlung.

[3] Vgl. Kenngott: Sitzungsber. Wien. Akad. 1869, 59 (2); ferner die auf Taf. V, Fig. 4 abgebildeten Chondren, und Tschermak: Taf. XIX, Fig. 1, 2.

Digitized by Google

Die hier beschriebenen Erscheinungen weisen meines Erachtens die Richtung an, in welcher eine Lösung der Frage nach der Entstehungsweise der Meteoriten zu suchen ist. Die mikroskopischen Untersuchungen haben den Beweis geliefert, dass diese Himmelskörper aus einem Agglomerat von kosmischen Substanzen bestehen, die bei ihrem Zusammentreffen verkittet worden sind. In Übereinstimmung damit nimmt auch Hr. Brezina als die wahrscheinlichste Hypothese diejenige an, welche schon durch Chladni aufgestellt und später durch v. Hoff ausgearbeitet wurde. Nachdem er die Schwierigkeiten hervorgehoben hat, welche gegen andere Hypothesen sprechen, fährt er fort (S. 170): „Alle diese Schwierigkeiten fallen hinweg durch Annahme eines Bildungsvorganges, welcher mir seit langer Zeit als der richtige erschienen ist, der mir durch jede neu hinzu kommende Thatsache von Neuem wahrscheinlicher gemacht wird; dieser Vorgang wurde vor 67 Jahren von dem genialen Begründer unserer Meteoritenkunde, Chladni, als der ihm am wahrscheinlichsten erscheinende bezeichnet und von v. Hoff i. J. 1835 weiter ausgeführt. Nach dieser Hypothese langen die Meteoriten in Form lockerer, staubartiger oder gasförmiger Zusammenballungen an der Grenze unserer Atmosphäre an; durch den Widerstand der letzteren verlieren sie ihre kosmische Geschwindigkeit; es entsteht eine Explosion (wohl in Folge des Eindringens der Luft in den hinter dem Ballen befindlichen leeren Raum), und durch die gewaltsame Zusammenpressung des anlangenden kosmischen Körpers wird er zu einem festen Körper comprimirt. Die Hauptstütze dieser Ansicht besteht derzeit allerdings in der nachgewiesenen Unzulänglichkeit aller anderen bisher vorgebrachten Hypothesen, nachdem uns noch die Anhaltspunkte fehlen, um über die physikalischen Vorgänge zu urtheilen, welche bei dem Anlangen einer Wolke kosmischen Staubes oder Gemisches von Gasen, flüssiger und fester Theilchen Platz greifen können; es ist jedoch ganz gut denkbar, dass der ungeheure, allseitige Druck im Momente der Explosion das Eintreten solcher Wirkungen verhindert, welche andernfalls aus der Erhitzung bei der Compression folgern würden, also insbesondere das Verflüchtigen leicht flüchtiger Verbindungen, wie sie in den kohligen Meteoriten gefunden werden."

Digitized by Google

Es scheint mir, dass CHLADNI's Hypothese, welche in Hrn. BREZINA einen neuen Vertheidiger gefunden hat, zu nicht weniger grossen Schwierigkeiten Veranlassung gibt wie die anderen bis jetzt vertheidigten Theorien. Es ist zwar richtig, dass man sich nicht genaue Rechenschaft geben kann von dem, was geschehen würde, wenn eine Wolke kosmischen Staubes in unsere Atmosphäre eindränge, aber dabei gibt es doch wohl Punkte, über welche nicht der geringste Zweifel bestehen kann. So ist es wohl zweifellos, dass die ganze Erscheinung, welche Hr. BREZINA beschreibt, sich in den höheren Regionen der Atmosphäre, wo der Luftdruck noch verhältnissmässig gering ist, abspielen muss. So werden auch die Theile der Wolke, welche voran gehen und die zuerst einen beträchtlichen Widerstand empfinden, auch zuerst langsamer gehen und die anderen, die folgen, sich dadurch nähern. Hierdurch wird wohl eine Aufstauung hervorgerufen werden, aber nur in der Richtung der Bewegung; zugleich folgt aber hieraus, dass derjenige Theil der Wolke, welcher in dieser Richtung die grösste Dichte hat, gerade wegen seiner grösseren Masse am wenigsten von seiner Geschwindigkeit verlieren wird. Bei einer kugelförmigen Wolke zum Beispiel würden die äusseren Theile eines Durchschnitts senkrecht auf der Bewegungsrichtung, hinter den inneren Theilen zurück bleiben und der Widerstand der Luft würde eine Art Schale erzeugen, ähnlich einem Kometenkopf. Nur in der Richtung der Bewegung kann der Druck beträchtlich sein; senkrecht darauf kann er nie den Druck der umgebenden Luft übersteigen; er ist also zu schwach, um aus einer losen Masse einen festen Körper zu machen. Wahrscheinlich daher ruft man bei dieser Hypothese eine Explosion zu Hilfe, die aber nicht weniger schwierig zu erklären ist. Erstens ist zu bemerken, dass auch hier, was die Heftigkeit der Wirkung angeht, der Stoss, welcher durch die Explosion hervorgebracht würde, ungenügend wäre, um die Verfestigung der Masse hervorzubringen. Es ist einleuchtend, dass die Wirkung auf die Meteormasse nie grösser sein kann, als diejenige an der Stelle hinter dem Meteor selbst, dort wo die Luft den leeren Raum ausfüllt. Was aber an dieser Stelle geschieht, könnte man künstlich nachahmen, indem man einen Haufen eines mehr oder weniger

Digitized by Google

grosskörnigen Mineralpulvers unter die Glocke einer Luftpumpe bringt und, nachdem man die Luft ausgepumpt hat, die Glocke zerschlägt. Die Luft, welche plötzlich eintreten würde, müsste dann durch den Stoss die verschiedenen Theilchen des Pulvers fest vereinigen. Auch ohne diesen Versuch anzustellen, kann über das Resultat wohl kein Zweifel sein. Es ist aber auch nicht einzusehen, wie der Stoss den Meteorit erreichen könnte, ehe der bei weitem grössere Theil der Bewegungsenergie in Wärme umgesetzt wäre. Ehe die Explosion, wie Hr. Brezina sie nennt, welche hinter dem Meteorit stattfindet, den vorderen und seitlichen Theil erreichen könnte, um einen „allseitigen Druck" auszuüben, welcher die Masse zusammenpressen würde, wäre es durchaus nothwendig, dass die Geschwindigkeit des Meteores geringer wäre als diejenige, mit welcher ein Stoss sich in der Luft fortpflanzt. Das Meteor muss also seine Geschwindigkeit auf ca. 340 m in der Secunde verringert haben, d. h. auf die Geschwindigkeit des Schalles. Ehe es aber so weit gekommen ist, wird die Abnahme der Geschwindigkeit nur gering sein und der Widerstand aufgewogen werden gegen die Beschleunigung, die verursacht wird durch die Anziehung der Erde. Die Folge davon ist, dass der leere Raum hinter dem Meteor nach und nach an Volumen abnimmt, bis er ganz verschwunden ist, wobei kein Stoss erfolgen wird[1]. Eine

[1] Man hat oft das Eintreten der Luft in den leeren Raum hinter den Meteoriten benutzt, um sich Rechenschaft von Erscheinungen zu geben, die bei Meteoriten wahrgenommen sind. So erklärt Hr. Tschermak daraus den Schall, der wie ein Kanonenschuss klingt, und den man so oft bei dem Falle von Meteoriten gehört hat. Nach seiner Auffassung ist auf einem gewissen Punkte die Geschwindigkeit des Meteoriten durch den Widerstand der Luft erschöpft. „In diesem Augenblick des Stillstandes" füllt die Luft den leeren Raum hinter dem Meteorit aus und der Stoss würde den kurzen Schall, der wie ein Kanonenschuss klingt, hervorbringen. Nach meiner Auffassung werden die verschiedenen Geräusche, welche man bei dem Fall von Meteoriten hört, folgenderweise erklärt: Die Luft, die von allen Seiten in den leeren Raum hinter dem Meteorit stürzt, bringt einen Schall hervor auf dieselbe Weise wie der Donner, dem er auch im Klange gleicht. Letzteres findet man auch oft in den Berichten von Meteoritenfällen erwähnt. Wenn aber während eines Theiles der Bahn der Abstand zwischen dem Meteoriten und dem Zuschauer jede Secunde 340 m geringer wird, so kommt der Schall, welcher in jedem Punkte dieser Bahn hervorgebracht

Digitized by Google

andere Schwierigkeit für diese Hypothese bietet die Rinde. Die Art des Eindringens der glasigen Masse der Rinde in den übrigen Theil des Meteoriten, selbst in die Risse der Mineralien in den Chondren liefert den Beweis, dass nur die äusseren Theile des Meteoriten während ihrer Flucht von nur wenigen Secunden durch unsere Atmosphäre geschmolzen gewesen sind. Diese Rinde hat sich erst gebildet, nachdem der Meteorit selbst schon fertig war, also gemäss vorliegender Hypothese, nachdem die Geschwindigkeit auf 340 m in der Secunde herabgekommen ist. Aber gerade während der Verminderung der kosmischen Geschwindigkeit auf 340 m wird die grösste Wärme entwickelt; nachher ist sie nur unbedeutend.

Eine Bleikugel aus einer Flinte geschossen, wird ungefähr dieselbe Anfangsgeschwindigkeit haben, doch wenn man sie in die Luft schiesst, bleibt ihre Form fast unverändert; man bemerkt durchaus nicht, dass sie geschmolzen gewesen war, obgleich sie durch ihr kleines Volumen im Verhältniss zur Masse und durch den Schmelzpunkt von nur 340° in viel günstigeren Verhältnissen war wie die Meteoriten.

Andererseits kann die von Hrn. Brezina vertheidigte Theorie keine Erklärung geben von der Structur der Meteoriten, besonders nicht von den Chondren. Diese mussten schon fertig vorhanden sein beim Eintritt der Wolke in unsere Atmosphäre.

Die Vorstellungen, welche verschiedene Gelehrte sich über die Bildung der Chondren gemacht haben, sind sehr verschiedenartig. Wenn man die durchaus unwahrscheinliche Hypothese einer Abreibung unberücksichtigt lässt, bleiben noch zwei Erklärungsweisen übrig. Die eine betrachtet die Chondren wie Produkte einer „überhasteten Krystallisation"; die andere nimmt an, dass es Tropfen sind, welche schwebend erstarrt sind. Die erste dieser Hypothesen ist neuerdings besonders durch Hrn. Brezina[1] und Hrn. Wadsworth[2] vertheidigt worden. Sie halten die Chondren für analog mit

---

wird, gleichzeitig bei dem Zuschauer an; dadurch wird das Geräusch so sehr verstärkt, dass es den Eindruck eines Kanonenschusses macht.

[1] a. a. O. 168—170.

[2] M. E. Wadsworth: Lithological Studies. (Mem. Mus. of comp. Zool. at Harvard college. XI, (1), 86.)

Digitized by Google

Sphärolithen oder VOGELSANG's Krystalliten. Ich habe schon gezeigt (S. 134), dass nur wenige Chondren einige Ähnlichkeit mit Belonosphäriten haben, doch unterscheiden sie sich auch noch durch gewisse Eigenthümlichkeiten. Von Globuliten sind sie durchaus verschieden. Die Globuliten sind immer äusserst klein; sie verdanken ihren Ursprung ohne Zweifel molecularen Kräften. Bekanntlich steht aber die moleculare Spannung im umgekehrten Verhältniss zu dem Krümmungsradius. Es ist also durchaus nicht erlaubt, anzunehmen, dass Globuliten von der Grösse der Chondren entstehen könnten, ehe man dies durch Versuche bewiesen hat. Auch hat man noch nie beobachtet, dass aus einem geschmolzenen Magma sich Tropfen so verschiedener Zusammensetzung ausschieden wie die Chondren, welche man in ein und demselben Meteorit antrifft. Ausserdem liefern die mikroskopischen Beobachtungen zahlreiche Ergebnisse, welche mit dieser Hypothese im Widerspruch sind; so beispielsweise die Chondren, welche in anderen eingeschlossen sind (vgl. TSCHERMAK: Taf. VIII Fig. 1).

Andrerseits liegen Thatsachen vor, welche die Annahme widerlegen, dass alle Chondren Produkte einer schnellen Krystallisation sind. Es ist zwar wahr, dass gewisse Theile, wie die weissen kryptokrystallinischen Chondren und die radialstrahligen Enstatitchondren nicht gegen eine solche Annahme sprechen, sie sogar wahrscheinlich machen; allein es giebt auch wieder eine grosse Zahl von Chondren, welche hiermit durchaus nicht in Übereinstimmung zu bringen sind. Der Fehler, den man hier begeht, liegt darin, dass man voraussetzt, dass der ganze Meteorit auf einmal „d'un seul jet" entstanden ist. Die Beobachtung der Form einer krystallisirten Masse genügt nicht, um daraus auf ihre schnelle oder langsame Entstehung zu schliessen. Bei der Besprechung des krystallitischen Chondrums habe ich schon darauf hingewiesen, dass auch andere Umstände hier eine Rolle spielen und Formen erzeugen können, die anscheinend die Folge eines schnellen Wachsthums sind, während sie doch in Wirklichkeit eine lange Zeit zu ihrer Bildung gebraucht haben. Um Schlüsse dieser Art zu ziehen, muss man erst die Eigenschaften des betreffenden Körpers genau kennen, und diese kann man nur experimentell erforschen. Versuche in dieser Richtung sind schon

Digitized by Google

ausgeführt worden und die beobachteten Thatsachen können uns schon Vieles lehren. Hauptsächlich französische Geologen wie Daubrée, Fouqué und Michel-Lévy haben sich mit der künstlichen Darstellung der Mineralien, welche in Meteoriten vorkommen, beschäftigt. Geben wir kurz an, welche Schlüsse in Bezug auf das Entstehen der Chondriten aus diesen Versuchen zu ziehen sind.

Olivin ist oft künstlich dargestellt worden. Die Beobachtungen, welche dabei für unseren Zweck am wichtigsten sind, werden von Fouqué und Michel-Lévy[1] folgenderweise resümirt: „Er erfordert stets ein fortgesetztes Erhitzen (un recuit) auf hoher Temperatur und nimmt anfangs krystallitische Formen an.“ Ferner beschreibt Hr. Daubrée[2] folgendermassen die Folgen einer schnellen Abkühlung: „Man hat ... undeutlich krystallinische Massen erhalten, welche an vielen Stellen die Eigenschaften von Olivin zeigten.“ Da aber die Olivinchondren ziemlich gross und monosomatisch aufgebaut sind, so folgt, dass diese Chondren bei langsamer Abkühlung entstanden sind.

Enstatit ist in dieser Hinsicht weniger bemerkenswerth, da es scheint, dass selbst bei schneller Abkühlung sich ziemlich grosse Krystalle bilden können.

Die Feldspathe sind in den Chondriten ziemlich selten. Oligoklas findet sich darin in unregelmässigen Stücken und in Chondren wie in dem Stein von Dhurmsala. Die synthetischen Versuche scheinen ein mindestens 48 Stunden lang fortgesetztes Erhitzen auf hoher Temperatur zu erfordern. „Eine weniger hohe Temperatur, ein nicht lange genug fortgesetztes Erhitzen, ein schnelles Abkühlen begünstigen das Entstehen von sphärolithischen Formen dicht bei der Oberfläche der Masse[3].“

Wie man sieht, scheinen die synthetischen Studien zu beweisen, dass die Meteoriten nicht durch schnelles Abkühlen und überhastetes Krystallisiren, sondern im Gegentheil bei

---

[1] Fouqué et Michel-Lévy: Synthèse des Minéraux et des Roches. Paris 1882.

[2] Daubrée: Expériences synthétiques relatives aux météorites. (Compt. Rend. LXII, 660.)

[3] Fouqué et Michel-Lévy a. a. O.

Digitized by Google

einer hohen Temperatur, die einige Zeit angehalten hat, entstanden sind.

Die andere Hypothese, welche die Chondren als erstarrte Tropfen betrachtet, ist viel wahrscheinlicher. Wenn man dieselbe annimmt, finden alle beobachteten Thatsachen eine einfache Erklärung. Allerdings bleibt die Schwierigkeit, das Entstehen dieser Tropfen zu erklären. Sorby bemerkt[1], dass, wenn man Luft durch eine geschmolzene Masse presst, diese fein vertheilt wird; ist dabei die Temperatur der umgebenden Luft wenig von dem Schmelzpunkt der Masse verschieden, so nehmen die einzelnen Theilchen eine Kugelform an. Es scheint mir aber schwierig, diese Erscheinung auf eine Theorie über das Entstehen von Meteoriten anzuwenden. Es ist nicht einzusehen, wie die Tropfen aus derselben flüssigen Masse so verschiedener Zusammensetzung sein könnten, dass einige zu Olivin, andere zu Enstatit auskrystallisiren, während wieder andere die porphyrischen Chondren liefern. Sorby betrachtet die Meteoriten als ein Conglomerat solcher von der Sonne ausgeworfener Massen. Aber obgleich man äusserst schnelle Bewegungen in der Chromosphäre der Sonne beobachtet hat, ist es nicht wahrscheinlich, dass diese den Chondren so grosse Bewegungsenergie mittheilen können, wie sie erfordert wird, um die Atmosphäre der Sonne zu durchdringen und die Attractionssphäre der Erde zu erreichen. Auch würde der in der Sonnenatmosphäre erlittene Widerstand diese Tropfen wohl verflüchtigt haben. Hr. Brezina bemerkt auch, dass man noch nie beobachtet hat, dass Fackeln sich vollständig von der Sonne losreissen und dass Alles darauf hindeutet, dass Meteoriten ähnliche Körper sind wie Sternschnuppen und Kometen.

Es scheint mir, dass man auf folgende Weise das Entstehen der Meteoriten erklären kann. Das Sonnensystem wird nicht nur gebildet durch die Sonne und die Planeten, sondern ausserdem durch zahlreiche Körper sehr verschiedener Grösse, welche aus dem interstellaren Raume fortwährend von diesem Centralkörper angezogen werden. Die grössten dieser Körper oder die ausgedehntesten und an kosmischem Stoff am reichhaltigsten Gruppen sind die Kometen; diese sind aber ver-

[1] Sorby, On the structure and origin of meteorites. (Nature 1877, **15**, 495—498.)

Digitized by Google

hältnissmässig selten. Die meisten haben nur sehr winzige Dimensionen. Die Zahl, welche in derselben Raumeinheit angetroffen wird, muss nothwendig zunehmen mit der Annäherung an die Sonne. Auf geringem Abstande von diesem Körper ist die Dichtheit dieser kosmischen Masse ziemlich gross. In der Nähe der Sonne schmelzen die einzelnen Theilchen und werden zu Tropfen. Nachdem diese aber das Perihelium passirt haben, erkalten sie allmählich wieder; ob schneller oder langsamer hängt von ihrer Bahn und ihrer Grösse ab. Diese kleinen Körperchen bewegen sich in allen Richtungen und ihre Bahnen können sich kreuzen. Wenn sie zu derselben Gruppe gehören, sind ihre Bahnen ungefähr parallel. Sobald sie jedoch die äussersten Theile der Sonnenatmosphäre streifen, verändern sie ihre Geschwindigkeit und ihre Bahnen in Folge des erlittenen Widerstandes. Die grössten und diejenigen, welche die grösste Densität haben, vermindern ihre Geschwindigkeit weniger als die kleineren und leichteren. Demzufolge werden sogar die Bahnen der Körperchen, welche zu derselben Gruppe gehören, sich kreuzen, so dass die letzteren sich häufig begegnen. Wenn die Körper beim Zusammentreffen schon in festem Zustande sind, vereinigen sie sich nicht; wenn aber einer von zwei derartigen Körpern an der Berührungsstelle flüssig oder zähe ist, findet eine Verkittung statt. Der heftige Stoss von zwei festen Körpern, die sehr verschiedene Geschwindigkeit haben oder sich in verschiedener Richtung fortbewegen, hat ihre Zersplitterung zur Folge und diese kleinen Bruchstücke können die Breccien- oder Tuff-artige Masse liefern, welche nur sehr wenigen Meteoriten fehlt, indem sie an den noch zähen Theilen des Meteoriten festkleben. Auf diese Weise kann man die Entstehung auch solcher Chondren erklären, welche für jede andere Hypothese räthselhaft bleiben. Ich erläutere diese Darstellung noch durch einige Beispiele.

1. Das porphyrische Chondrum, welches von Hrn. Tschermak a. a. O. Taf. VIII Fig. 1 abgebildet worden ist und welches in seiner Masse ein anderes Chondrum umschliesst.

2. Die oben beschriebenen Zwillingschondren, von denen beim Zusammentreffen eines flüssig, das andere fest gewesen ist.

3. Die Chondren mit einer Hülle. Letztere kann entstanden sein, indem ein festes Chondrum mit einem flüssigen

Digitized by Google

zusammengekommen ist, welches sich über das erstere durch moleculare Kräfte ausgebreitet hat, oder sie kann eine Art festgewordene Mutterlauge sein. In den meisten Fällen lässt sich durch mikroskopische Beobachtung ausmachen, welche Entstehungsweise für jeden besonderen Fall am wahrscheinlichsten ist. In dem auf Taf. V Fig. 5 dargestellten Falle wird ein eckiges Olivinbruchstück durch eine schwarze undurchsichtige Zone umgeben; hierfür kann nur die erste Erklärungsweise dienen.

4. Die Porosität vieler Meteoriten, welche für denjenigen von Ngawi so gross ist, dass nach der Berechnung des Hrn. Lorentz wenigstens ein Zehntel des Volumens leer ist, hat für unsere Hypothese nichts Auffallendes, während sie durchaus unerklärlich sein würde, wenn man annähme, dass der Meteorit eine geschmolzene Masse gewesen wäre.

5. Das Auftreten von organischen Verbindungen, die nicht ohne Zersetzung zu erleiden zu einer so hohen Temperatur erhitzt werden können, wie dies für das Entstehen von Olivin (mit Glaseinschlüssen) nothwendig ist.

6. Endlich bietet die Thatsache, dass sich bisweilen gleichzeitig Substanzen vorfinden, die bei einer hohen Temperatur auf einander einwirken, wie Eisen und Kohlenstoff, Eisensilikate und organische Verbindungen, für unsere Hypothese keine Schwierigkeit dar, da nichts verhindert, anzunehmen, dass diese Substanzen erst in den Meteorit gekommen sind in verhältnissmässig kälteren Gegenden.

Schliesslich ist zu bemerken, dass dieselben Ursachen, welche die Vereinigung von kosmischen Massen, die sich um die Sonne bewegen, bewirkt haben, auch in der Nähe von anderen Himmelskörpern existiren können. Ebenso wie man annimmt, dass gewisse Kometen in hyperbolischen Bahnen von dem einen Fixstern zum anderen ziehen, ist es auch möglich, dass Meteoriten, welche in anderen Welten entstanden sind, in unser Sonnensystem hereinkommen und dass wir in einigen Meteoriten Massen kosmischen Stoffes haben, welcher in der glühenden Atmosphäre eines weit entfernten Fixsterns vereinigt und verkittet worden ist.

---

Digitized by Google

## Erklärung der Tafeln.

### Tafel IIIa.

Fig. 1, 2, 3. Der Meteorit von Karang-Modjo oder Magetan in drei verschiedenen Ansichten, in zwei Drittel natürlicher Grösse. S. 126.

### Tafel IV.

Fig. 1. Olivinchondrum von einer schwarzen Hülle umgeben. Der centrale Theil enthält schwarze geschichtete Einschlüsse. S. 132. Vergr. 1 : 80.

Fig. 2. Olivinkrystall mit einem gerundeten Glaseinschluss mit Libelle und schwarzem Körperchen, ein wenig unterhalb des Centrums der Figur. S. 132. Vergr. 1 : 240.

Fig. 3. Enstatitchondrum, bestehend aus einem Krystalliten, der von einer schwarzen Masse, hauptsächlich Eisen, umgeben ist. Diese Masse dringt hier und da in den Krystallit ein, besonders im unteren Theile der Figur. S. 133. Vergr. 1 : 100.

Fig. 4. Enstatitchondrum, mit zwei sich durchkreuzenden Krystallbündeln. Ganz unten rechts dringt ein fremdartiger Körper in das Chondrum ein. S. 133. Vergr. 1 : 35.

### Tafel V.

Fig. 5. Theil des Meteoriten, ein Krystallbruchstück enthaltend (links). Der krystallinische Umriss ist theilweise erhalten geblieben. Mehr nach rechts befindet sich ein ganz unregelmässiger Splitter, der von einer schwarzen Hülle umgeben ist. S. 134. Vergr. 1 : 38.

Fig. 6. Zwei Enstatitchondren; das eine, kleinste, links unten, ist halbwegs in dem anderen eingebettet. Die Krystallnadeln des letzteren strahlen fächerförmig vom kleineren aus; dieses scheint etwas gelblicher zu sein, was an der beinahe schwarzen Farbe im photographischen Bilde zu sehen ist. S. 134. Vergr. 1 : 30.

Fig. 7. Olivinvarietäten. Rechts ein regelmässig umgrenzter Krystall. Der übrige Theil der Figur wird fast ganz eingenommen von einem Olivinkrystall mit geschichteten Einschlüssen, welche in der Figur schwarz, bei auffallendem Lichte weiss sind. S. 132. Vergr. 1 : 38.

Fig. 8. Olivin mit zahlreichen Glaseinschlüssen. Die schwarzen Linien sind Glas, welches in die Risse eingedrungen ist. S. 131. Vergr. 1 : 100.

Digitized by Google

# Untersuchungen über die Symmetrieverhältnisse der Krystalle.

Von

**B. Minnigerode** in Greifswald.

In einigen früheren Arbeiten[1] habe ich die Symmetrieverhältnisse der Krystalle untersucht und dabei den Zweck verfolgt, die Symmetrieverhältnisse der von den Krystallographen allgemein angenommenen Systeme und deren Unterabtheilungen erschöpfend zu entwickeln. Es geschah dies mit Hilfe der Substitutions- und Gruppentheorie, die es möglich macht, die Symmetrieeigenschaften analytisch in der vollkommensten Weise darzustellen. Diese Untersuchungen werden hier von einem anderen Gesichtspunkte aus wieder aufgenommen und weiter geführt, indem untersucht wird, welche Punktsysteme überhaupt Symmetrieeigenschaften besitzen, die durch endliche Gruppen darstellbar sind; diese Gruppen werden sämmtlich angegeben und dann speciell diejenigen entwickelt, welche in der Natur vorkommen können, wenn nur das Gesetz der rationalen Indices als maassgebend angenommen wird.

Die Frage, welche Polyëder krystallographisch möglich sind, ist zuerst von Gadolin[2] vollständig behandelt worden auf Grundlage des Gesetzes der rationalen Indices. Er stützt sich in keiner Weise auf allgemeinere geometrische Principien,

[1] Untersuchungen über die Symmetrieverhältnisse und die Elasticität der Krystalle. Drei Abhandl. Nachrichten der K. Ges. d. Wissenschaften zu Göttingen 1884. S. 195—226, 374—384, 488—492 (dies. Jahrb. 1885. I. -380-).

[2] Mém. sur la déduction d'un seul principe de tous les systèmes cristallogr. avec leurs subdivisions. Acta soc. scient. fennicae. Helsingforsiae 1871, 9, 1—71.



Digitized by Google

die Untersuchungen von Bravais scheinen ihm nicht bekannt zu sein. Mehrere der Gadolin'schen Betrachtungen erscheinen dadurch in falschem Lichte, indem es nur nöthig ist, aus den geometrisch möglichen die krystallographisch möglichen Polyëder auszusuchen. Allgemeine Untersuchungen über Symmetrieverhältnisse von Polyëdern hat zuerst Bravais[1] angestellt, der zu einer Eintheilung derselben in Classen (mit Unterabtheilungen) gelangt ist. — In neuester Zeit sind über denselben Gegenstand Untersuchungen von Curie[2] erschienen, bei denen die Frage nach überhaupt möglichen Symmetrieeigenschaften in allgemeiner Weise durch geometrische Betrachtungen beantwortet wird. Er findet, dass ausser Ebenen, Axen und Centren der Symmetrie noch eine Symmetrieeigenschaft besteht, die er als „plan de symétrie alterne" bezeichnet. Es ist dieser Fall auch in meinen früheren Arbeiten besprochen worden als der Fall einer Symmetrieaxe, die einseitig von der zweiten Art ist. Die Beziehung dieser Symmetrieeigenschaft zu überhaupt möglichen Symmetrieeigenschaften tritt erst bei Curie auf.

Die Frage nach überhaupt möglichen Symmetrieeigenschaften wird in der vorliegenden Arbeit vom Standpunkt der Gruppentheorie aus behandelt. In der Sache findet Übereinstimmung statt mit dem Ergebniss von Curie, wenn auch die Ausdrucksweise ganz verschieden ist. Die Gruppentheorie ergibt aber zugleich neue Gesichtspunkte und die hier entwickelte Beziehung zu orthogonalen Substitutionen von positiver oder negativer Determinante lässt den Gegenstand im hellsten Licht erscheinen.

Zugleich führt die Betrachtungsweise fast mit Nothwendigkeit auf eine ganz bestimmte Anordnung der Unterabtheilungen der einzelnen Krystallsysteme und die Analogien treten auf das Deutlichste hervor: ein Blick auf die tabellarischen Übersichten lässt dies erkennen. Die Analogien, die sich hier zeigen, sind zum Theil verschieden von denjenigen, die man bisher vorausgesetzt hat. Das Vorhandensein einer Analogie

[1] Liouville, Journ. 1849. XIV, 141.

[2] Bulletin de la société minéralogique de France. VII, 89—111, 418—457, 1884 (dies. Jahrb. 1887. I. Heft 3). Siehe auch Möbius, Theorie der symmetrischen Figuren (Nachlass), Gesammelte Werke. 1886. II, 561.

Digitized by Google

zwischen der rhomboëdrischen Hemiëdrie des hexagonalen und der sphenoidischen Hemiëdrie des tetragonalen Systems kann von dem Standpunkt der vorliegenden Untersuchungen aus nicht zugegeben werden.

## §. 1.

Wenn statt irgend welcher Elemente x, y, z andere x', y', z' gesetzt werden (die Functionen von ihnen sind), so heisst die Ausführung einer solchen Vertauschung eine Substitution und es wird dieselbe in folgender Weise bezeichnet:

$$\begin{pmatrix} x & y & z \\ x' & y' & z' \end{pmatrix}.$$

Eine Substitution kann schlechtweg durch einen Buchstaben bezeichnet werden. Werden nach einander zwei oder mehrere Substitutionen S, T, U, . . angewandt, so erhält man das Produkt derselben, welches durch

STU . .

bezeichnet wird. Die Factoren sind im Allgemeinen nicht vertauschbar, die Operation muss stets in derselben Weise (entweder von rechts nach links oder von links nach rechts) ausgeführt werden. Die identische Substitution, bei der $x = x'$, $y = y'$, $z = z'$ ist, wird durch 1 bezeichnet. Eine Reihe von Substitutionen heisst eine Gruppe, wenn alle möglichen aus ihren positiven und negativen Potenzen gebildeten Produkte wieder zu den ursprünglichen Substitutionen zurückführen. Die Anzahl der verschiedenen Substitutionen einer Gruppe heisst ihre Ordnung.

Es werde ein System (A) von Punkten betrachtet, deren Coordinaten durch x, y, z bezeichnet werden sollen. Die Coordinaten x', y', z' eines zweiten Punktsystemes (B) seien mit ihnen durch die Gleichungen

$$\begin{aligned} x' &= \alpha_1 x + \beta_1 y + \gamma_1 z, \\ y' &= \alpha_2 x + \beta_2 y + \gamma_2 z, \\ z' &= \alpha_3 x + \beta_3 y + \gamma_3 z, \\ x'^2 + y'^2 + z'^2 &= x^2 + y^2 + z^2 \end{aligned}$$

verknüpft, so dass die Substitution eine orthogonale ist.

Es sei erstens die Determinante

$$\Sigma \pm \alpha_1 \beta_2 \gamma_3 = 1,$$

dann kann nach einem bekannten Satz von Euler (A) mit (B) durch Drehung um eine gewisse Axe zur Deckung ge-



Digitized by Google

bracht werden. Die Gesammtheit aller orthogonalen Substitutionen S, deren Determinante den Werth 1 hat, gibt das System (A) in allen möglichen Lagen, bei denen ein Punkt (der Anfangspunkt der Coordinaten) fest bleibt.

Kommen unter diesen Substitutionen (ausser der identischen Substitution) solche vor, bei denen (B) mit (A) zur Deckung gelangt, so besitzt das System eine oder mehrere Axen der Symmetrie. Die Gesammtheit der Substitutionen, die (B) mit (A) zur Deckung bringen, bildet eine Gruppe.

Ist zweitens

$$\Sigma \pm \alpha_1 \beta_2 \gamma_3 = -1,$$

so ergibt sich aus dem Punktsystem (A) ein zweites (C), das mit (A) im Allgemeinen nicht zur Deckung gebracht werden kann. Eine solche Substitution, deren Determinante den Werth $-1$ hat, werde durch H bezeichnet. Sämmtliche Punktsysteme (C), die durch alle Substitutionen H erhalten werden, können aber unter einander zur Deckung gebracht werden. Ist nämlich $H_0$ irgend eine von ihnen, so kann man zu jeder anderen H eine bestimmte Substitution S finden, so dass

$$H = SH_0$$

ist, nämlich

$$S = HH_0^{-1}.$$

$SH_0$ entspricht aber einer Drehung des durch die Substitution $H_0$ bestimmten Systems, woraus die Richtigkeit obiger Behauptung folgt.

Wird

$$D = \begin{pmatrix} x & y & z \\ -x & -y & -z \end{pmatrix},$$

so ist D eine orthogonale Substitution von der Determinante $-1$, die ein Punktsystem liefert, das mit (A) centrisch ist, d. h. die Verbindungslinie entsprechender Punkte wird im gemeinsamen festen Punkt der Systeme halbirt. Die Substitution D ist mit jeder orthogonalen Substitution vertauschbar, d. h. es ist

$$SD = DS, \quad HD = DH.$$

Werden zwei Punktsysteme (A) und (C), die durch eine orthogonale Substitution von der Determinante $-1$ verknüpft sind, correlat (symmetrisch) genannt, so kann jetzt folgender Satz aufgestellt werden:

Digitized by Google

**Ein Punktsystem (A), das mit einem zweiten (C) correlat ist, kann (durch Drehung) mit dem zu (C) centrischen System zur Deckung gebracht werden; und umgekehrt: können ein Punktsystem (A) und das mit einem zweiten (C) centrische zur Deckung gebracht werden, so sind sie correlat.**

Sind eine oder mehrere Substitutionen H vorhanden, durch welche Deckung von (A) und (C) herbeigeführt wird, so kann (A) mit dem zu ihm selbst centrischen System zur Deckung gebracht werden, es ist sich selbst correlat (symmetrisch). Ist keine solche Substitution vorhanden, so heisst (A) enantiomorph.

Eine endliche (oder unendliche) Zahl von Substitutionen H können für sich niemals eine Gruppe bilden, denn das Produkt je zweier von ihnen hat die Determinante 1, ist also eine Substitution S.

§. 2.

Es mögen drittens sowohl Substitutionen S von der Determinante 1, wie Substitutionen H von der Determinante $-1$ vorliegen, die zusammen eine Gruppe bilden. Die Zahl der Substitutionen sei endlich und folgende seien die von einander verschiedenen:

$$1,\ S_1,\ S_2,\ \ldots S_{n-1},$$
$$H_0,\ H_1,\ H_2,\ \ldots H_{m-1}.$$

Ist H irgend eine der Substitutionen der zweiten Reihe, so sind

$$H,\ S_1 H,\ S_2 H,\ \ldots\ S_{n-1} H$$

in der Gruppe enthalten, von einander verschieden und von der Determinante $-1$. Sie sind also in der zweiten Reihe enthalten und es ist

$$m \geqq n.$$

Die Substitutionen

$$HH_0,\ HH_1,\ \ldots\ HH_{m-1}$$

sind ebenfalls in der Gruppe enthalten, von einander verschieden und von der Determinante 1. Sie sind also in der ersten Reihe enthalten und es ist

$$n \geqq m.$$

Hieraus folgt

$$m = n.$$

Digitized by Google

Man kann also die Gesammtheit der Substitutionen der Gruppe folgendermaassen darstellen:

$$1,\ S_1,\ S_2,\ \ldots\ S_{n-1},$$
$$H,\ S_1H,\ S_2H,\ \ldots\ S_{n-1}H.$$

Die Substitution H kann aber durch

$$H = SD,\quad (S = HD)$$

ersetzt werden; hieraus ergibt sich folgende Darstellung der Gruppe:

$$1,\ S_1,\ S_2,\ \ldots\ S_{n-1},$$
$$SD,\ S_1SD,\ S_2SD,\ \ldots\ S_{n-1}SD.$$

Bezeichnet T irgend eine der Substitutionen

$$S,\ S_1S,\ S_2S,\ \ldots\ S_{n-1}S,$$

so kann die Gruppe auch durch

$$1,\quad S_1,\quad \ldots\ S_{n-1},$$
$$TD,\ S_1TD,\ \ldots\ S_{n-1}TD$$

dargestellt werden.

Da $(TD)^2 = T^2$ in der Gruppe vorkommt, so muss $T^2$ mit einer der Substitutionen der ersten Reihe identisch sein. Eine solche Substitution entspricht aber einer Drehung des Systems um eine Axe L, die im Allgemeinen Symmetrieaxe desselben ist. Es sei L eine p-zählige Symmetrieaxe und die (der Gruppe angehörige) Substitution $S_0$ entspreche einer Drehung um $\frac{2\pi}{p}$; die ganze Zahl p kann auch den Werth 1 haben, was $S_0 = 1$ gibt. Es ist dann

$$T^2 = S_0^{\,k},$$

wo k irgend eine ganze Zahl ist. Die zweimal hinter einander ausgeführte Substitution T bringt eine Drehung um $\frac{2k\pi}{p}$ hervor, die einmalige also eine Drehung entweder um $\frac{k\pi}{p}$ oder um $\frac{k\pi}{p} + \pi$. Entspricht $\Theta$ einer Drehung des Systems um den Winkel $\frac{\pi}{p}$ um die Axe L, so ist entweder

$$T = \Theta^k \quad \text{oder} \quad = \Theta^{k+p}.$$

Man umfasst alle Fälle, wenn man

$$T = \Theta^k$$

setzt und für k alle Zahlen der Reihe

$$0,\ 1,2,\ \ldots\ (2p-1)$$

zulässt.

Digitized by Google

Ist k eine gerade Zahl, so ist

$$\Theta^k = S_0^{\frac{1}{2}k},$$

es gehört also T und somit auch D zur Gruppe, die jetzt folgendermaassen dargestellt werden kann:

$$\begin{matrix} 1, & S_1, & S_2, & \ldots & S_{n-1}, \\ D, & S_1 D, & S_2 D, & \ldots & S_{n-1} D. \end{matrix}$$

Das System besitzt ein Centrum der Symmetrie. Ist p gerade, so ist auch eine zu L normale Ebene der Symmetrie vorhanden, die der Substitution $S^{\frac{1}{2}p}D$ entspricht; die p-zählige Symmetrieaxe ist einseitig von der ersten Art[1]. Ist p ungerade, so ist keine zu L normale Ebene der Symmetrie vorhanden und die p-zählige Symmetrieaxe ist einseitig von der zweiten Art (plan de symétrie alterne à pôle d'ordre p nach Curie). Im Fall $p = 1$ ist bloss ein Centrum der Symmetrie zu vermerken.

Ist k eine ungerade Zahl, so ist

$$\Theta^k = \Theta S_0^{\frac{1}{2}(k-1)},$$

es gehört also, da $S_0^{\frac{1}{2}(k-1)}$ eine Substitution der Gruppe ist, auch $\Theta D$ zu derselben und sie kann folgendermaassen dargestellt werden:

$$\begin{matrix} 1, & S_1, & S_2, & \ldots & S_{n-1}, \\ \Theta D, & S_1 \Theta D, & S_2 \Theta D, & \ldots & S_{n-1} \Theta D. \end{matrix}$$

Ein Centrum der Symmetrie ist nicht vorhanden. Ist p gerade, so fehlt auch eine zu L normale Ebene der Symmetrie, die p-zählige Symmetrieaxe ist einseitig von der zweiten Art (plan de symétrie alterne à pôle d'ordre p nach Curie). Ist p ungerade, so ist eine zu L normale Ebene der Symmetrie vorhanden, die der Substitution $(\Theta D)^p = \Theta^p D$ entspricht. Die p-zählige Symmetrieaxe ist einseitig von der ersten Art. Im Fall $p = 1$ ist bloss eine Ebene der Symmetrie zu vermerken.

## §. 3.

Liegen zwei Punktsysteme (A) und (A') vor, deren Symmetrieverhältnisse durch zwei Gruppen G und G' dargestellt

[1] Bezüglich dieser Ausdrucksweise siehe meine oben citirte Arbeit §. 4.

Digitized by Google

werden, und ist G' eine Untergruppe von G, d. h. eine Gruppe, deren sämmtliche Substitutionen unter denen von G vorkommen, so sollen die Symmetrieverhältnisse von (A') aus denen von (A) ableitbar genannt werden. Man findet alle Symmetrieverhältnisse, die aus denen von (A) ableitbar sind durch Aufstellung aller Untergruppen von G.

Sollen die Symmetrieverhältnisse aller derjenigen Punktsysteme aufgesucht werden, denen endliche Gruppen entsprechen, so sind zunächst solche Gruppen zu suchen, die nicht Untergruppen von anderen endlichen Gruppen sind. Durch Aufstellung sämmtlicher Untergruppen von diesen ergeben sich dann alle möglichen Fälle.

Handelt es sich zunächst um Gruppen, die bloss orthogonale Substitutionen von der Determinante 1 enthalten, bei denen also lediglich endliche Drehungen um eine endliche Zahl von Symmetrieaxen vorkommen, so geht aus den Untersuchungen von Bravais[1] hervor, dass nur die Symmetrieaxen der regelmässigen Körper, der Pyramiden und Doppelpyramiden (Diëder) mit regelmässiger Basis in Betracht zu ziehen sind; bei Voraussetzung eines grösseren Reichthums an Symmetrieaxen würden die Gruppen nicht endlich sein.

Das Dodekaëder und der Würfel sind die Polarfiguren des Ikosaëders und des Oktaëders, besitzen also dieselben Symmetrieaxen; die Gruppe des Tetraëders ist als Untergruppe sowohl in der Ikosaëder- wie in der Oktaëdergruppe enthalten; es genügt also diese beiden Gruppen allein zu untersuchen. Ein Diëder besitzt eine n-zählige und n zu ihr normale zweizählige Symmetrieaxen. Die Pyramiden brauchen nicht berücksichtigt zu werden, da ihre Gruppen in denen der Diëder enthalten sind. Gewisse Diëder- und Pyramidengruppen sind als Untergruppen in denen der regelmässigen Körper enthalten (den Werthen $n = 5, 4, 3, 2$ entsprechend): diese sollen nicht bei den Gruppen des Ikosaëders und Oktaëders, sondern bei denen der Diëder abgehandelt werden. Schliesst man diese sowie die Gruppen selbst und die identische Gruppe aus, so besitzt die Oktaëdergruppe als Untergruppe nur noch die des Tetraëders und, wenn aus der des Ikosaëders

[1] Liouville, Journ. 1849. XIV, 141. — Vgl. auch C. Jordan, Annali di matematica. Ser. II. T. II. p. 167.

Digitized by Google

auch die in ihr enthaltene des Tetraëders ausgeschlossen wird, so enthält sie weiter keine Untergruppe[1].

Es sind nun diejenigen endlichen Gruppen zu untersuchen, in denen auch orthogonale Substitutionen von der Determinante $-1$ vorkommen. Dies soll mit folgender Betrachtung eingeleitet werden. Liegt irgend eine endliche Gruppe vor, deren Substitutionen die Determinante $+1$ und $-1$ haben können, und kommt nur die einem Centrum der Symmetrie entsprechende Substitution D nicht unter ihnen vor, so wird durch Hinzunahme von D die Ordnung der Gruppe verdoppelt; zu jedem Punkte des Systems kommt der zu ihm centrisch symmetrische hinzu. Liegt also eine Gruppe vor, deren Ordnung mit Hinzunahme von D unendlich gross ist, so ist ihre Ordnung auch ohne Hinzunahme von D unendlich gross.

Sollen nun die endlichen Gruppen, die nur Substitutionen von der Determinante 1 enthalten, erweitert werden durch Hinzunahme von Substitutionen von der Determinante $-1$, so geschieht dies nach den Erörterungen des §. 2 dadurch, dass erstens die Substitution D und zweitens eine Substitution $\Theta$D hinzugenommen wird. Das erste kann nach dem soeben Gesagten immer geschehen und verdoppelt die Ordnung der Gruppe. Wird $\Theta$D hinzugenommen, so muss für $\Theta$ eine Substitution genommen werden, die einer Drehung des Systems um einen Winkel $\frac{\pi}{p}$ um eine Axe L entspricht, die im Allgemeinen p-zählige Symmetrieaxe desselben ist, im Fall $p = 1$ irgend eine Lage haben kann. Durch Hinzunahme von D in die Gruppe würde die Axe L 2p-zählige Symmetrieaxe des Systems werden. Für die beiden Fälle des Ikosaëders und Oktaëders ist dies aber nicht zulässig, weil ein grösserer Reichthum an Symmetrieaxen, als sie ihn besitzen, überhaupt nicht vorkommen kann (für das Tetraëder würde der Schluss nicht mehr richtig sein; eine derartige Erweiterung der Tetraëdergruppe durch eine Substitution $\Theta$D, bei der die Gruppe

[1] Vgl. Felix Klein, Vorlesungen über das Ikosaëder. Leipzig 1884. Kapitel I. Man beachte, dass Klein's Gruppenerweiterung von der hier gebrauchten verschieden ist, was für die Tetraëdergruppe von Belang ist. Die erweiterte Tetraëdergruppe entspricht bei Klein der tetraëdrischen Hemiëdrie des regulären Krystallsystems, hier der pentagonalen Hemiëdrie desselben.

Digitized by Google

endlich bleibt, liefert aber nichts, was nicht auch in den durch D erweiterten Gruppen des Ikosaëders und Oktaëders enthalten wäre). Die Ikosaëder- und Oktaëdergruppe dürfen also, wenn die Gruppen endlich bleiben sollen, nur durch die Substitution D erweitert werden. Anders steht es mit den Diëdergruppen. Eine Diëdergruppe kann nicht nur durch die Substitution D erweitert werden, sondern auch durch eine gewisse Substitution $\Theta D$, indem ihre Gruppe durch Hinzunahme von D nicht unendlich zu werden braucht. Besitzt das System eine n-zählige Symmetrieaxe sowie n zu ihr senkrechte 2-zählige, so kann die n-zählige Symmetrieaxe 2n-zählig werden, da die ganze Zahl n jeden Werth haben kann. Eine der 2-zähligen Symmetrieaxen aber darf im Allgemeinen nicht 4-zählig werden, wenn die Gruppe endlich bleiben soll. Dies ist nur in den Fällen $n = 2$ und $n = 4$ zulässig, die beide nicht berücksichtigt zu werden brauchen; denn im Fall $n = 2$ erhält man dieselben Symmetrieverhältnisse, wie wenn die n-zählige Symmetrieaxe 2n-zählig wird, im Fall $n = 4$ erhält man die Symmetrieverhältnisse der Oktaëdergruppe.

## §. 4.

Nachdem jetzt die allgemeinsten weiter zu untersuchenden Gruppen aufgefunden sind, handelt es sich darum, alle in ihnen enthaltenen Untergruppen abzuleiten. Es stützt sich dies auf folgende Bemerkung. Um alle Untergruppen einer Gruppe G zu finden, in denen eine bestimmte Untergruppe G′ von G enthalten ist, hat man nur G′ mit allen den Untergruppen von G zu combiniren, die mit G′ ausser der Identität keine Substitution gemein haben.

Sind S, T, U, ... die Substitutionen einer Gruppe G, so soll

$$G = \{S, T, U, \ldots\}$$

gesetzt werden, wo in der Klammer sämmtliche Substitutionen enthalten sein können, aber nicht enthalten zu sein brauchen; es genügt, dass die angegebenen Substitutionen S, T ... so beschaffen sind, dass durch alle möglichen Produkte von ihnen alle Substitutionen der Gruppe dargestellt werden.

Da bei der Ikosaëdergruppe die in ihr enthaltenen Untergruppen des Tetraëders und der Diëder ausgeschieden

Digitized by Google

sind, so sind nur noch zwei aus ihr ableitbare Fälle zu verzeichnen: die Gruppe selbst und ihre Erweiterung durch die Substitution D.

Entspricht die Substitution K einer der 3-zähligen, Q einer der 2-zähligen Symmetrieaxen des Tetraëders, P einer der 2-zähligen Symmetrieaxen, um die das Oktaëder reicher ist als das Tetraëder, so kann die Oktaëdergruppe durch

$$\{K, Q, P\}$$

dargestellt werden, die nur durch Hinzufügung der Substitution D zu erweitern ist. Da die in ihr enthaltenen Diëdergruppen ausgeschieden sind, so ist nach einer oben gemachten Bemerkung die Tetraëdergruppe

$$\{K, Q\}$$

in allen noch aufzustellenden Gruppen als Untergruppe enthalten. Diese ergeben sich durch Combination mit allen Untergruppen von

$$\{P, D,\}$$

indem diese Gruppe alle die Substitutionen der Gruppe des Oktaëders enthält, die mit der des Tetraëders nur die Substitution 1 gemein haben. Beachtet man, dass $P^2 = 1$ ist, so erkennt man, dass $\{P, D\}$ folgende Substitutionen enthält:

$$1, P, D, PD,$$

aus denen sich folgende Gruppen bilden lassen:

$$\{P, D\}, \{PD\}, \{P\}, \{D\}, \{1\}.$$

Die Combination derselben mit $\{K, Q\}$ gibt fünf aus der Oktaëdergruppe abgeleitete Untergruppen.

Alle aus Diëdergruppen ableitbare Gruppen, die eine n-zählige Symmetrieaxe, der die Substitution $Q_n$ entsprechen möge, besitzen, sollen in eine Classe zusammengefasst werden. Entspricht P einer zu ihr normalen 2-zähligen Symmetrieaxe, so ist hier

$$\{Q_n, P\}$$

sowohl durch Hinzunahme der Substitution D, als der Substitution $Q_{2n}D$ zu erweitern, was zwei Abtheilungen gibt. Zu der ersten gehören fünf Fälle, die sich genau wie bei der Oktaëdergruppe ergeben, nämlich

$$\{Q_n, P, D\}, \{Q_n, PD\},$$
$$\{Q_n, P\}, \{Q_n, D\}, \{Q_n\}.$$

Digitized by Google

Zu der zweiten Abtheilung gehören nur zwei Fälle, weil

$$(Q_{2n}D)^2 = Q_n$$

ist, also $Q_n$ durch $Q_{2n}D$ schon gegeben ist. Die Gruppen dieser beiden Fälle sind

$$\{Q_{2n}D\},\ P,\ \{Q_{2n}D\}.$$

## §. 5.

Aus dem Gesetz der rationalen Indices folgt bekanntlich, dass Symmetrieaxen, deren Zähligkeit 5 oder $> 6$ ist, krystallographisch nicht möglich sind. Ferner folgt aus diesem Gesetz, dass man ein krystallographisch mögliches Polyëder erhält, wenn man den Symmetrieverhältnissen eines krystallographisch möglichen nicht centrisch symmetrischen Polyëders ein Centrum der Symmetrie hinzufügt: denn dadurch kommt nur zu jeder bereits vorhandenen Fläche eine neue hinzu, deren Indices sich von den Indices jener nur durch das entgegengesetzte Vorzeichen unterscheiden, so dass die Indices beider Flächen gleichzeitig rational sind. Ein nicht centrisch symmetrisches Polyëder ist also krystallographisch unmöglich, wenn es durch Hinzunahme eines Centrums der Symmetrie eine mehr als 6-zählige Symmetrieaxe erhält.

Sollen nun aus den oben angegebenen Systemen diejenigen ausgesucht werden, denen krystallographisch mögliche Symmetrieverhältnisse entsprechen, so ist zunächst die Ikosaëdergruppe wegzulassen, weil das Ikosaëder 5-zählige Symmetrieaxen besitzt; die Oktaëdergruppe ist dagegen beizubehalten. Bei den Diëdergruppen mit n-zähliger Symmetrieaxe sind für die erste Abtheilung die Werthe

$$n = 6,\ 4,\ 3,\ 2,$$

für die zweite Abtheilung die Werthe

$$n = 3,\ 2,\ 1$$

zu nehmen.

Die Gruppen, die möglichen Krystallformen entsprechen, können jetzt aufgestellt werden, ohne dass es nöthig ist, für die Substitutionen bestimmte Darstellungsformen zu Grunde zu legen, was in sehr verschiedener Weise geschehen kann: die vorstehenden Betrachtungen sind sehr allgemeiner Art und es wird nur die geometrische Bedeutung der Substitutionen

Digitized by Google

benutzt. Es erscheint aber zweckmässig, jetzt für die einzelnen Substitutionen bestimmte Formen aufzuführen und zwar in einer Weise, die einen einfachen Vergleich mit der in der Krystallographie üblichen Darstellungsweise ermöglicht.

Die Stellung einer Krystallfläche wird durch die Richtung ihrer (nach aussen gerichteten) Normalen bestimmt; durch den Anfangspunkt der Coordinaten werden in ihm einseitig begrenzte Gerade gelegt, die den Normalen parallel sind, die Symmetrieverhältnisse dieser Geraden kommen hier in Betracht.

## §. 6.

Die Formen des regulären Systems entsprechen den oben aus der Oktaëdergruppe abgeleiteten Gruppen. Sie werden jetzt hier aufgeführt und in jedem einzelnen Fall angegeben, wie er in den Classificationen von Bravais, Gadolin, Curie auftritt.

### Reguläres System.

1. {K, Q, P, D}. Holoëdrische Formen.
   Bravais Cl. 21. Gadolin A. 1. Curie III, 2.
2. {K, Q, PD}. Tetraëdrische Hemiëdrie.
   Bravais Cl. 19. Gadolin A. 3. Curie IV, 3.
3. {K, Q, P}. Plagiëdrische Hemiëdrie.
   Bravais Cl. 20. Gadolin A. 2. Curie III, 1.
4. {K, Q, D}. Pentagonale Hemiëdrie.
   Bravais Cl. 18. Gadolin A. 4. Curie IV, 2.
5. {K, Q}. Tetartoëdrie.
   Bravais Cl. 17. Gadolin A. 5. Curie IV, 1.

Für die Darstellung der Substitutionen sollen rechtwinklige Coordinaten x, y, z zu Grunde gelegt werden; bezeichnen $\alpha, \beta, \gamma$ die Richtungscosinus der Normalen einer Krystallfläche, so kann man setzen

$$K = \begin{pmatrix} \alpha & \beta & \gamma \\ \beta & \gamma & \alpha \end{pmatrix},$$

$$Q = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ -\alpha & -\beta \end{pmatrix},$$

$$P = \begin{pmatrix} \alpha & \beta & \gamma \\ -\beta & -\alpha & -\gamma \end{pmatrix},$$

$$D = \begin{pmatrix} \alpha & \beta & \gamma \\ -\alpha & -\beta & -\gamma \end{pmatrix}.$$

Digitized by Google

Die Substitution K entspricht dann einer Drehung des Systems von dem Winkel $\frac{2\pi}{3}$ um eine Axe, deren Richtungscosinus

$$\sqrt{\tfrac{1}{3}},\ \sqrt{\tfrac{1}{3}},\ \sqrt{\tfrac{1}{3}}$$

sind, Q einer Drehung um den Winkel $\pi$ um die z-Axe, P einer Drehung um den Winkel $\pi$ um eine Axe, deren Richtungscosinus

$$\sqrt{\tfrac{1}{2}},\ -\sqrt{\tfrac{1}{2}},\ 0$$

sind. D entspricht einem Centrum der Symmetrie.

Zur Abkürzung, sowie um die Bezeichnung symmetrischer zu machen, werde gesetzt

$$A = K^2QK,\ B = KQK^2,\ C = Q,$$

wobei die Multiplicationen von links nach rechts ausgeführt werden sollen. Es ergibt sich

$$A = \begin{pmatrix} \beta & \gamma \\ -\beta & -\gamma \end{pmatrix},\ B = \begin{pmatrix} \alpha & \gamma \\ -\alpha & -\gamma \end{pmatrix},$$

so dass den Substitutionen A und B Drehungen um den Winkel $\pi$ um die x- und y-Axe entsprechen.

Die 48 Substitutionen der erweiterten Oktaëdergruppe werden dann durch folgende Doppeltabelle dargestellt.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I. | 1 | K | $K^2$ | II. | PD | KPD | $K^2PD$ |
| | A | KA | $K^2A$ | | APD | KAPD | $K^2APD$ |
| | B | KB | $K^2B$ | | BPD | KBPD | $K^2BPD$ |
| | C | KC | $K^2C$ | | CPD | KCPD | $K^2CPD$ |
| III. | P | KP | $K^2P$ | IV. | D | KD | $K^2D$ |
| | AP | KAP | $K^2AP$ | | AD | KAD | $K^2AD$ |
| | BP | KBP | $K^2BP$ | | BD | KBD | $K^2BD$ |
| | CP | KCP | $K^2CP$ | | CD | KCD | $K^2CD$ |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I. | $\alpha\beta\gamma$ | $\beta\gamma\alpha$ | $\gamma\alpha\beta$ | II. | $\beta\alpha\gamma$ | $\alpha\gamma\beta$ | $\gamma\beta\alpha$ |
| | $\alpha\bar{\beta}\bar{\gamma}$ | $\bar{\beta}\bar{\gamma}\alpha$ | $\bar{\gamma}\alpha\bar{\beta}$ | | $\beta\bar{\alpha}\bar{\gamma}$ | $\bar{\alpha}\bar{\gamma}\beta$ | $\bar{\gamma}\beta\bar{\alpha}$ |
| | $\bar{\alpha}\beta\bar{\gamma}$ | $\beta\bar{\gamma}\bar{\alpha}$ | $\bar{\gamma}\bar{\alpha}\beta$ | | $\bar{\beta}\alpha\bar{\gamma}$ | $\alpha\bar{\gamma}\bar{\beta}$ | $\bar{\gamma}\bar{\beta}\alpha$ |
| | $\bar{\alpha}\bar{\beta}\gamma$ | $\bar{\beta}\gamma\bar{\alpha}$ | $\gamma\bar{\alpha}\bar{\beta}$ | | $\bar{\beta}\bar{\alpha}\gamma$ | $\bar{\alpha}\gamma\bar{\beta}$ | $\gamma\bar{\beta}\bar{\alpha}$ |
| III. | $\bar{\beta}\bar{\alpha}\bar{\gamma}$ | $\bar{\alpha}\bar{\gamma}\bar{\beta}$ | $\bar{\gamma}\bar{\beta}\bar{\alpha}$ | IV. | $\bar{\alpha}\bar{\beta}\bar{\gamma}$ | $\bar{\beta}\bar{\gamma}\bar{\alpha}$ | $\bar{\gamma}\bar{\alpha}\bar{\beta}$ |
| | $\bar{\beta}\alpha\gamma$ | $\alpha\gamma\bar{\beta}$ | $\gamma\bar{\beta}\alpha$ | | $\bar{\alpha}\beta\gamma$ | $\beta\gamma\bar{\alpha}$ | $\gamma\bar{\alpha}\beta$ |
| | $\beta\bar{\alpha}\gamma$ | $\bar{\alpha}\gamma\beta$ | $\gamma\beta\bar{\alpha}$ | | $\alpha\bar{\beta}\gamma$ | $\bar{\beta}\gamma\alpha$ | $\gamma\alpha\bar{\beta}$ |
| | $\beta\alpha\bar{\gamma}$ | $\alpha\bar{\gamma}\beta$ | $\bar{\gamma}\beta\alpha$ | | $\alpha\beta\bar{\gamma}$ | $\beta\bar{\gamma}\alpha$ | $\bar{\gamma}\alpha\beta$ |

Digitized by Google

Die erste Hälfte der Tabelle gibt die Substitutionen in der gewählten Bezeichnungsweise durch die Buchstaben K, P, .....; die zweite Hälfte gibt an entsprechenden Stellen die Richtungscosinus der Normalen, statt welcher auch die Indices der zugehörigen Krystallflächen genommen werden können.

I. bis IV. entspricht den holoëdrischen Formen, I. und II. der tetraëdrischen, I. und III. der plagiëdrischen, I. und IV. der pentagonalen Hemiëdrie, I. allein der Tetartoëdrie.

## §. 7.

Die Formen des hexagonalen Systems entsprechen denjenigen aus Diëdergruppen ableitbaren Untergruppen, denen eine 6-zählige oder eine 3-zählige Symmetrieaxe zukommt. In die erste Abtheilung sollen die Formen mit einer 6-zähligen Symmetrieaxe aufgenommen werden, in die zweite Abtheilung die mit einer 3-zähligen Symmetrieaxe, die durch Hinzunahme eines Centrums der Symmetrie 6-zählig wird, in die dritte Abtheilung diejenigen mit einer 3-zähligen Symmetrieaxe, die bei Hinzunahme eines Centrums der Symmetrie 3-zählig bleibt. Nach den Entwicklungen des §. 4. können die sämmtlichen Fälle sofort angegeben werden.

### Hexagonales System.

### Erste Abtheilung.

6. $\{Q_6, P, D\}$. Holoëdrische Formen.
   Bravais Cl. 8, q = 3. Gadolin C. 1. Curie V, 2, q = 6.
7. $\{Q_6, PD\}$. Hemimorphie der holoëdrischen Formen.
   Bravais Cl. 7, q = 3. Gadolin C. 9. Curie VI, 4, q = 6.
8. $\{Q_6, P\}$. Trapezoëdrische Hemiëdrie.
   Bravais Cl. 6, q = 3. Gadolin C. 2. Curie V, 1, q = 6.
9. $\{Q_6, D\}$. Pyramidale Hemiëdrie.
   Bravais Cl. 5, q = 3. Gadolin C. 4. Curie VI, 2, q = 6.
10. $\{Q_6\}$. Hemimorphie der trapezoëdrischen und pyramidalen Hemiëdrie.
    Bravais Cl. 4, q = 3. Gadolin C. 10. Curie VI, 1, q = 6.

### Zweite Abtheilung.

11. $\{Q_6 D, P\}$. Sphenoidische Hemiëdrie.
    Bravais Cl. 16, q = 1. Gadolin C. 5. Curie V, 2, q = 3.

Digitized by Google

12. $\{Q_6\, D\}$. Sphenoidische Tetartoëdrie.
Bravais Cl. 12, q = 1. Gadolin C. 8. Curie VI, 2, q = 3.

Dritte Abtheilung.

13. $\{Q_3, P, D\}$. Rhomboëdrische Hemiëdrie.
Bravais Cl. 15, q = 1. Gadolin C. 3. Curie V, 3, q = 3.

14. $\{Q_3, P\, D\}$. Hemimorphie der rhomboëdrischen Hemiëdrie.
Bravais Cl. 14, q = 1. Gadolin C. 11: Curie VI, 4, q = 3.

15. $\{Q_3, P\}$. Trapezoëdrische Tetartoëdrie.
Bravais Cl. 13, q = 1. Gadolin C. 7. Curie V, 1, q = 3.

16. $\{Q_3, D\}$. Rhomboëdrische Tetartoëdrie.
Bravais Cl. 11, q = 1. Gadolin C. 6. Curie VI, 3, q = 3.

17. $\{Q_3\}$. Hemimorphie der Tetartoëdrieen.
Bravais Cl. 10, q = 1. Gadolin C. 12. Curie VI, 1, q = 3.

Die Hemimorphie der Tetartoëdrieen geht aus jeder von diesen dadurch hervor, dass die Hauptaxe der Symmetrie polar wird. Sie ist bei allen Tetartoëdrieen 3-zählig, bei der sphenoidischen einseitig von der ersten Art, bei der trapezoëdrischen zweiseitig, bei der rhomboëdrischen einseitig von der zweiten Art.

Für das hexagonale System ist ein Cordinatensystem mit vier Axen anzunehmen, von denen drei in einer Ebene liegen und sich unter Winkeln von $\frac{\pi}{3}$ schneiden; sie werden durch x, y, z bezeichnet. Die vierte steht senkrecht zu ihnen und werde durch t bezeichnet. Die Projection der Normale einer Krystallfläche auf die Ebene der x, y, z bilde mit diesen Axen Winkel, deren Cosinus $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ sind; die Normale selbst bilde mit der t-Axe einen Winkel, dessen Cosinus $\delta$ ist. Dann kann man setzen

$$Q_6 = \begin{pmatrix} \alpha & \beta & \gamma \\ -\beta & -\gamma & -\alpha \end{pmatrix},$$

$$P = \begin{pmatrix} \alpha & \beta & \gamma & \delta \\ -\beta & -\alpha & -\gamma & -\delta \end{pmatrix},$$

$$D = \begin{pmatrix} \alpha & \beta & \gamma & \delta \\ -\alpha & -\beta & -\gamma & -\delta \end{pmatrix},$$

woraus folgt

$$Q_3 = \begin{pmatrix} \alpha & \beta & \gamma \\ \gamma & \alpha & \beta \end{pmatrix},$$

$$Q_3 D = \begin{pmatrix} \alpha & \beta & \gamma & \delta \\ \beta & \gamma & \alpha & -\delta \end{pmatrix}.$$

Digitized by Google

Es ergibt sich hieraus zunächst für die erste Abtheilung des hexagonalen Systems folgende Doppeltabelle, die der bei dem regulären System aufgestellten vollständig analog angeordnet ist und keine weitere Erläuterung erfordert. Für $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, $\delta$ können die Indices der Krystallflächen nach der Bezeichnung von Bravais genommen werden.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| I. | 1 | $Q_6$ | $Q_6^2$ | $Q_6^3$ | $Q_6^4$ | $Q_6^5$ |
| II. | PD | $Q_6PD$ | $Q_6^2PD$ | $Q_6^3PD$ | $Q_6^4PD$ | $Q_6^5PD$ |
| III. | P | $Q_6P$ | $Q_6^2P$ | $Q_6^3P$ | $Q_6^4P$ | $Q_6^5P$ |
| IV. | D | $Q_6D$ | $Q_6^2D$ | $Q_6^3D$ | $Q_6^4D$ | $Q_6^5D$ |
| I. | $\alpha\beta\gamma\delta$ | $\bar{\beta}\bar{\gamma}\alpha\delta$ | $\gamma\alpha\beta\delta$ | $\bar{\alpha}\bar{\beta}\bar{\gamma}\delta$ | $\beta\gamma\alpha\delta$ | $\bar{\gamma}\bar{\alpha}\bar{\beta}\delta$ |
| II. | $\beta\alpha\gamma\delta$ | $\bar{\alpha}\bar{\gamma}\bar{\beta}\delta$ | $\gamma\beta\alpha\delta$ | $\bar{\beta}\bar{\alpha}\bar{\gamma}\delta$ | $\alpha\gamma\beta\delta$ | $\bar{\gamma}\bar{\beta}\bar{\alpha}\delta$ |
| III. | $\bar{\beta}\bar{\alpha}\bar{\gamma}\delta$ | $\alpha\gamma\beta\bar{\delta}$ | $\bar{\gamma}\bar{\beta}\bar{\alpha}\delta$ | $\beta\alpha\gamma\bar{\delta}$ | $\bar{\alpha}\bar{\gamma}\bar{\beta}\delta$ | $\gamma\beta\alpha\bar{\delta}$ |
| IV. | $\bar{\alpha}\bar{\beta}\bar{\gamma}\delta$ | $\beta\gamma\alpha\bar{\delta}$ | $\bar{\gamma}\bar{\alpha}\bar{\beta}\delta$ | $\alpha\beta\gamma\bar{\delta}$ | $\bar{\beta}\bar{\gamma}\bar{\alpha}\delta$ | $\gamma\alpha\beta\bar{\delta}$ |

Diese Tabelle kann auch für die beiden anderen Abtheilungen des hexagonalen Systems benutzt werden, der Bequemlichkeit wegen mögen die betreffenden speciellen Tabellen auch mitgetheilt werden. Für die zweite Abtheilung soll folgende unmittelbar verständliche Anordnung gewählt werden

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| I. | 1 | $Q_6D$ | $(Q_6D)^2$ | $(Q_6D)^3$ | $(Q_6D)^4$ | $(Q_6D)^5$ |
| II. | P | $Q_6DP$ | $(Q_6D)^2P$ | $(Q_6D)^3P$ | $(Q_6D)^4P$ | $(Q_6D)^5P$ |
| I. | $\alpha\beta\gamma\delta$ | $\beta\gamma\alpha\bar{\delta}$ | $\gamma\alpha\beta\delta$ | $\alpha\beta\gamma\bar{\delta}$ | $\beta\gamma\alpha\delta$ | $\gamma\alpha\beta\bar{\delta}$ |
| II. | $\bar{\beta}\bar{\alpha}\bar{\gamma}\delta$ | $\bar{\alpha}\bar{\gamma}\bar{\beta}\delta$ | $\bar{\gamma}\bar{\beta}\bar{\alpha}\delta$ | $\bar{\beta}\bar{\alpha}\bar{\gamma}\delta$ | $\bar{\alpha}\bar{\gamma}\bar{\beta}\delta$ | $\bar{\gamma}\bar{\beta}\bar{\alpha}\delta$ |

I. und II. entspricht der sphenoidischen Hemiëdrie, I. allein der sphenoidischen Tetartoëdrie.

Für die dritte Abtheilung ergibt sich folgende Tabelle, die ebenso wie die für das reguläre System und die erste Abtheilung des hexagonalen eingerichtet ist.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| I. | 1 | $Q_3$ | $Q_3^2$ | II. | PD | $Q_3PD$ | $Q_3^2PD$ |
| III. | P | $Q_3P$ | $Q_3^2P$ | IV. | D | $Q_3D$ | $Q_3^2D$ |
| I. | $\alpha\beta\gamma\delta$ | $\gamma\alpha\beta\delta$ | $\beta\gamma\alpha\delta$ | II. | $\beta\alpha\gamma\delta$ | $\gamma\beta\alpha\delta$ | $\alpha\gamma\beta\delta$ |
| III. | $\bar{\beta}\bar{\alpha}\bar{\gamma}\delta$ | $\bar{\gamma}\bar{\beta}\bar{\alpha}\delta$ | $\bar{\alpha}\bar{\gamma}\bar{\beta}\delta$ | IV. | $\bar{\alpha}\bar{\beta}\bar{\gamma}\delta$ | $\bar{\gamma}\bar{\alpha}\bar{\beta}\delta$ | $\bar{\beta}\bar{\gamma}\bar{\alpha}\delta$ |

## §. 8.

Die Formen des tetragonalen Systems entsprechen denjenigen Untergruppen von Diëdergruppen, denen entweder eine 4-zählige oder eine 2-zählige Symmetrieaxe zukommt,



Digitized by Google

die durch Hinzunahme eines Centrums der Symmetrie 4-zählig wird. Es ergeben sich hiernach zwei Abtheilungen.

### Tetragonales System.

#### Erste Abtheilung.

18. $\{Q_4, P, D\}$. Holoëdrische Formen.
    Bravais Cl. 8, q = 2. Gadolin B. 1. Curie V, 2, q = 4.
19. $\{Q_4, PD\}$. Hemimorphie der holoëdrischen Formen.
    Bravais Cl. 7, q = 2. Gadolin B. 6. Curie VI, 4, q = 4.
20. $\{Q_4, P\}$. Trapezoëdrische Hemiëdrie.
    Bravais Cl. 6, q = 2. Gadolin B. 2. Curie V, 1, q = 4.
21. $\{Q_4, D\}$. Pyramidale Hemiëdrie.
    Bravais Cl. 5, q = 2. Gadolin B. 4. Curie VI, 2, q = 4.
22. $\{Q_4\}$. Hemimorphie der trapezoëdrischen und pyramidalen Hemiëdrie.
    Bravais Cl. 4, q = 2. Gadolin B. 7. Curie VI, 1, q = 4.

#### Zweite Abtheilung.

23. $\{Q_4 D, P\}$. Sphenoidische Hemiëdrie.
    Bravais Cl. 6, q = 1. Gadolin B. 3. Curie V, 3, q = 2.
24. $\{Q_4 D\}$. Sphenoidische Tetartoëdrie.
    Bravais Cl. 4, q = 1. Gadolin B. 5. Curie VI, 3, q = 2.

Für die Darstellung der bei dem tetragonalen und den rhombischen Systemen auftretenden Substitutionen werden rechtwinklige Coordinaten x, y, z und die Richtungscosinus $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ wie bei dem regulären System zu Grunde gelegt und gesetzt

$$Q_4 = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \beta & -\alpha \end{pmatrix},$$

$$Q_2 = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ -\alpha & -\beta \end{pmatrix},$$

$$P = \begin{pmatrix} \beta & \gamma \\ -\beta & -\gamma \end{pmatrix},$$

$$D = \begin{pmatrix} \alpha & \beta & \gamma \\ -\alpha & -\beta & -\gamma \end{pmatrix}.$$

Dieselben Substitutionen werden auch für das monokline und trikline System benutzt, doch kann bei jenem der Winkel zwischen der x- und y-Axe auch von einem rechten verschieden sein; beim triklinen System können die drei von den Coordinatenaxen gebildeten Winkel beliebig sein.

Digitized by Google

Dann ist für die erste Abtheilung des tetragonalen Systems folgende Tabelle zu benutzen.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| I. | 1 | $Q_4$ | $Q_4^2$ | $Q_4^3$ |
| II. | P D | $Q_4$ P D | $Q_4^2$ P D | $Q_4^3$ P D |
| III. | P | $Q_4$ P | $Q_4^2$ P | $Q_4^3$ P |
| IV. | D | $Q_4$ D | $Q_4^2$ D | $Q_4^3$ D |
| I. | $\alpha\beta\gamma$ | $\beta\bar{\alpha}\gamma$ | $\bar{\alpha}\bar{\beta}\gamma$ | $\bar{\beta}\alpha\gamma$ |
| II. | $\bar{\alpha}\beta\gamma$ | $\beta\alpha\gamma$ | $\alpha\bar{\beta}\gamma$ | $\bar{\beta}\bar{\alpha}\gamma$ |
| III. | $\alpha\bar{\beta}\bar{\gamma}$ | $\bar{\beta}\bar{\alpha}\bar{\gamma}$ | $\bar{\alpha}\beta\bar{\gamma}$ | $\beta\alpha\bar{\gamma}$ |
| IV. | $\bar{\alpha}\bar{\beta}\bar{\gamma}$ | $\bar{\beta}\alpha\bar{\gamma}$ | $\alpha\beta\bar{\gamma}$ | $\beta\bar{\alpha}\bar{\gamma}$ |

Für die zweite Abtheilung dient folgende Tabelle.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| I. | 1 | $Q_4$ D | $(Q_4 D)^2$ | $(Q_4 D)^3$ |
| II. | P | $Q_4$ D P | $(Q_4 D)^2$ P | $(Q_4 D)^3$ P |
| I. | $\alpha\beta\gamma$ | $\bar{\beta}\alpha\bar{\gamma}$ | $\bar{\alpha}\bar{\beta}\gamma$ | $\beta\bar{\alpha}\bar{\gamma}$ |
| II. | $\alpha\bar{\beta}\bar{\gamma}$ | $\beta\alpha\gamma$ | $\bar{\alpha}\beta\bar{\gamma}$ | $\bar{\beta}\bar{\alpha}\gamma$ |

Beide Tabellen bedürfen keiner Erläuterung; statt der Richtungscosinus können hier, wie im Folgenden, die Indices der zugehörigen Krystallflächen genommen werden.

## §. 9.

Die Formen der noch fehlenden Krystallsysteme entsprechen denjenigen Untergruppen der Diëdergruppen, denen entweder eine 2-zählige Symmetrieaxe entspricht, die auch bei Hinzunahme eines Centrums der Symmetrie 2-zählig bleibt, oder bei denen keine Symmetrieaxe mehr vorhanden ist.

Die noch fehlenden Krystallsysteme können folgendermassen angeordnet werden.

### Rhombisches System.

25. $\{Q_2, P, D\}$. Holoëdrische Formen.
Bravais Cl. 8, q = 1. Gadolin D. 1. Curie V, 2, q = 2.

26. $\{Q_2, PD\}$. Hemimorphie.
Bravais Cl. 7, q = 1. Gadolin D. 3. Curie VI, 4, q = 2.

27. $\{Q_2, P\}$. Hemiëdrie.
Bravais Cl. 6, q = 1. Gadolin D 2. Curie V, 1, q = 2.

### Monoklines System.

28. $\{Q_2, D\}$. Holoëdrische Formen.
Bravais Cl. 5, q = 1. Gadolin E. 1. Curie VI, 2, q = 2.



Digitized by Google

29. $\{Q_2\}$. Hemimorphie.
Bravais Cl. 4, q = 1. Gadolin E. 3. Curie VI, 1, q = 2.

30. $\{Q_2\ D\}$. Hemiëdrie.
Bravais Cl. 3. Gadolin E. 2. Curie IX, 2.

### Triklines System.

31. $\{D\}$. Holoëdrische Formen.
Bravais Cl. 2. Gadolin F. 1. Curie IX, 3.

32. $\{1\}$. Hemiëdrie.
Bravais Cl. 1. Gadolin F. 2. Curie IX, 1.

Zwischen 29 und 30 wäre nach Analogie der bisherigen Anordnung die Gruppe $\{Q_2\ D, P\}$ einzuschieben; sie ist nicht aufgenommen, weil sie von der Gruppe 26 $\{Q_2, PD\}$ nur durch die Bezeichnung verschieden ist.

Die folgende Tabelle genügt zur Darstellung der Substitutionen der drei Systeme.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| I. | 1 | $Q_2$ | I. | $\alpha\beta\gamma$ | $\bar{\alpha}\bar{\beta}\gamma$ |
| II. | PD | $Q_2PD$ | II. | $\bar{\alpha}\beta\gamma$ | $\alpha\bar{\beta}\gamma$ |
| III. | P | $Q_2P$ | III. | $\alpha\bar{\beta}\bar{\gamma}$ | $\bar{\alpha}\beta\bar{\gamma}$ |
| IV. | D | $Q_2D$ | IV. | $\bar{\alpha}\bar{\beta}\bar{\gamma}$ | $\alpha\beta\bar{\gamma}$ |

## §. 10.

Die hier aufgeführten 32 Typen der bei Krystallen möglichen Symmetrieverhältnisse sind längst bekannt und von fast allen Krystallographen angenommen, mit Ausnahme von zwei Fällen, der sphenoidischen Hemiëdrie und Tetartoëdrie des hexagonalen Systems, dessen zweite Abtheilung sie bilden. Die tetartoëdrischen Formen besitzen eine 3-zählige Symmetrieaxe, die 1-seitig von der ersten Art ist und eine zu ihr normale Symmetrieebene, ein Centrum der Symmetrie ist nicht vorhanden. Die hemiëdrischen Formen besitzen dieselben Symmetrieverhältnisse, aber es kommen noch drei zur 3-zähligen Symmetrieaxe normale 2-zählige Symmetrieaxen hinzu, die sich unter Winkeln von $\frac{\pi}{3}$ schneiden; ausserdem geht durch die 3-zählige und jede der 2-zähligen Symmetrieaxen eine Symmetrieebene. Die 3-zählige Symmetrieaxe wird auch noch 2-seitig, die 2-zähligen sind polar. Die einfache Krystallform ist bei der Tetartoëdrie ein Doppelpyramide, deren Basis ein gleichseitiges Dreieck bildet, bei der Hemiëdrie

Digitized by Google

kommen noch Flächen hinzu, die aus Spiegelung der vorhandenen an irgend einer durch die 3-zählige Symmetrieaxe gehenden Ebene hervorgehen.

Vergleicht man die hier gegebene Übersicht der möglichen Krystallformen mit der Bravais'schen Eintheilung, so übersieht man, dass beide einander vollständig entsprechen, mit einer einzigen Ausnahme. Die Fälle 24. und 29. gehören nach Bravais beide in Classe 4, $q = 1$. Es sind die Fälle der sphenoidischen Tetartoëdrie des tetragonalen Systems und die Hemimorphie des monoklinen Systems. Beiden gemeinsam ist eine 2-zählige Symmetrieaxe; im ersten Fall ist sie 1-seitig von der 2ten Art, im zweiten polar. Bravais hat bei den Symmetrieaxen nur ihre Zähligkeit in Betracht gezogen; dadurch ist ihm die Scheidung beider Formen entgangen. Es ist nicht schwierig, den Grund anzugeben, warum nur in diesem und nicht noch in andern krystallographisch möglichen Fällen verschiedene Formen in einer einzigen Classe vereinigt bei ihm auftreten.

Mit den Classificationen von Gadolin und Curie findet vollständige Übereinstimmung statt.

## §. 11.

Zum Schluss sollen noch diejenigen Unterabtheilungen der Krystallsysteme aufgezählt werden, bei denen enantiomorphe Formen auftreten. Aus den Erörterungen der §§. 1 und 2 geht hervor, dass dies in der einfachsten Weise geschehen kann. Enantiomorphe Formen treten nur dann auf, wenn der Buchstabe D in den Substitutionen der zugehörigen Gruppe in keiner Weise vorkommt. Ein Blick auf die Tabellen ergibt folgende Übersicht[1].

Reguläres System.

1. Plagiëdrische Hemiëdrie.
2. Tetartoëdrie.

Hexagonales System.

3. Trapezoëdrische Hemiëdrie.
4. Hemimorphie der trapezoëdrischen und pyramidalen Hemiëdrie.

[1] In meiner Abhandlung l. c. Seite 215, Zeile 11 v. o. ist der Fall *f.* wegzulassen.

Digitized by Google

5. Trapezoëdrische Tetartoëdrie.
6. Hemimorphie der Tetartoëdrien.

Tetragonales System.

7. Trapezoëdrische Hemiëdrie.
8. Hemimorphie der trapezoëdrischen und pyramidalen Hemiëdrie.

Rhombisches System.

9. Hemiëdrie.

Monoklines System.

10. Hemimorphie.

Triklines System.

11. Hemiëdrie.

Greifswald, Juli 1886.

Digitized by Google

# Ueber die Totalreflexion an doppeltbrechenden Krystallen.

Von

**C. Pulfrich** in Bonn.

Mit Tafel VI. VII.

---

Die Erscheinungen der Totalreflexion an doppeltbrechenden Krystallen sind besonders in den letzten Jahren Gegenstand theoretischer Betrachtungen gewesen. Was die experimentellen Untersuchungen angeht, so handelte es sich mehr um den Nachweis, dass die aus den FRESNEL'schen Gesetzen der Doppelbrechung abgeleiteten Bedingungen für den Grenzwinkel der totalen Reflexion durch das Experiment ihre Bestätigung erhielten.

Es mussten zu dem Ende die durch Beobachtung des Grenzwinkels (e') gefundenen Radien der Wellenfläche $v = 1/N \cdot \sin e'$ oder deren reciproke Werthe, die Brechungsindices, mit den theoretisch abgeleiteten numerisch verglichen werden. Hierhin gehören die Untersuchungen von W. KOHLRAUSCH[1], GLAZEBROOK[2], LIEBISCH[3] und DANKER[4], dabei abgesehen von den Versuchen, die Hauptlichtgeschwindigkeiten in Krystallen nach der Methode der Totalreflexion zu bestimmen (F. KOHLRAUSCH, FEUSSNER etc.).

Nachdem insbesondere LIEBISCH den theoretischen Aufbau wesentlich gefördert, haben die von DANKER mit geeigneten

---

[1] W. KOHLRAUSCH, WIEDEM. Ann. 1879. 6. p. 86; 7. p. 427.

[2] GLAZEBROOK, Roy. Soc. 1879. II. p. 421.

[3] LIEBISCH, dies. Jahrb. 1885. I. 248; II. 181.

[4] DANKER, dies. Jahrb. 1885. IV. 241.

Digitized by Google

Instrumenten an einer grösseren Anzahl optisch ein- und zweiaxiger Krystalle ausgeführten Messungen einen bisher unerreichten Grad der Übereinstimmung mit der Theorie erreicht, hinter dem nicht allein die älteren Versuche von WOLLASTON[1] und BILLET[2] weit zurück bleiben.

Ich beabsichtige deshalb auch nicht, an meinen Beobachtungen, welche ich mit dem KOHLRAUSCH'schen Totalreflectometer ausgeführt habe, eine nochmalige Prüfung der für die Wellenfläche geltenden Relationen vorzunehmen: mein Bestreben geht vielmehr dahin, die Form der sich dem Auge darbietenden Grenzcurven unter möglichster Modification der die Krystallfläche umgebenden Flüssigkeit theoretisch und experimentell zu verfolgen.

Insbesondere fällt auf, dass die Grenzlinie, welche das partiell reflectirte Licht vom Gebiete der Totalreflexion trennt, nicht stets senkrecht zur Einfallsebene des Lichtes steht. DANKER hat freilich bei einigen seiner Beobachtungsreihen eine beiläufige Messung des Neigungswinkels[3] ausgeführt. Indessen stehen diese Zahlen, nebst den Zeichnungen von W. KOHLRAUSCH[4], vereinzelt da und war bis vor kurzer Zeit der gesetzmässige Zusammenhang der Neigung der Grenzlinie mit den übrigen Erscheinungen der Totalreflexion keineswegs klargestellt.

Diese letztere Lücke ist im Juni d. J. gleichzeitig durch die Herren KETTELER[5] und LIEBISCH[6] ausgefüllt worden und hat letzterer die erwähnten Messungen des Hrn. DANKER bereits einer numerischen Berechnung unterworfen.

Während Hr. KETTELER, im Anschluss an seine früheren Aufsätze über Totalreflexion, neben der Entwickelung der für die Neigung der Grenzlinie gültigen Formeln auch die Polarisationsverhältnisse theoretisch beleuchtet, leitet Hr. LIEBISCH unter richtiger Würdigung der SENARMONT'schen Arbeit

---

[1] WOLLASTON, Roy. Soc. 1802. 92. II. p. 381.

[2] BILLET, Compt. rend. 1856. 61. p. 514. (POGG. Ann. 97. p. 148.)

[3] DANKER, l. c.

[4] W. KOHLRAUSCH, l. c.

[5] KETTELER, WIEDEM. Ann. 28. p. 290. — ibid. p. 520.

[6] LIEBISCH, (2. Mittheilung) dies. Jahrb. 1886. II. 47—66.

Digitized by Google

(vergl. p. 172) aus den für den Grenzkegel und für die an diesen gelegten Tangentialebene gewonnenen Beziehungen den Ausdruck für die Neigung der Grenzlinie ab.

Im Folgenden sollen nun die Formeln für den Neigungswinkel nochmals entwickelt werden. Meine Ableitung, die im Übrigen zu demselben Resultat führt wie die von LIEBISCH und KETTELER, schliesst direct an die früheren Gleichungen des Hrn. LIEBISCH an und ist die Rechnung insofern bedeutend vereinfacht, als die Formeln sofort zur Schnittcurve zwischen Grenzkegel und Begrenzungsfläche führen.

Meine Beobachtungen beschränken sich auf eine zur optischen Axe eines einaxigen Krystalls (Kalkspath) parallele Schlifffläche. Zuerst sind deshalb die Gleichungen für diesen Specialfall entwickelt, nachher auch für eine beliebig gelegene Fläche. An den eigenen Messungen sowohl wie an den von DANKER vorliegenden sind die gefundenen theoretischen Beziehungen geprüft worden.

Alle diese Dinge fanden ihren Abschluss bereits im Mai dieses Jahres. Seit Ende Mai bin ich aber durch Verhältnisse ca. 10 Wochen an der definitiven Fertigstellung der Arbeit behufs Übergabe zum Druck behindert gewesen.

Indem ich des Näheren auf den Nachtrag und Schluss (p. 192) verweise, bemerke ich noch, dass dort auch die Berechnung der DANKER'schen Messungen seitens des Hrn. LIEBISCH eine kurze Besprechung gefunden hat.

## I.

1) Die dem Auge auf der Krystallfläche erscheinende Grenzcurve. — Da für das von mir benutzte KOHLRAUSCH'sche Totalreflectometer der total reflectirte Lichtstrahl beim Austritt aus der Flüssigkeit keine weitere Ablenkung erleidet, so bildet die im Fernrohre sichtbare Grenze ein kleines Stück jener Grenzcurve, welche das Auge in ihrem ganzen Verlaufe würde erkennen können, wenn es vor einer unendlich ausgedehnten, ringsum beleuchteten Krystallfläche in dem stärker brechenden Medium sich befände, befähigt, nach allen Seiten deutlich und gleichzeitig zu sehen. Wäre die Platte isotrop, so würde sich die Grenzcurve als

Digitized by Google

ein in sich geschlossener Kreis darbieten, der das Gebiet der partiell reflectirten und gebrochenen Lichtstrahlen einschliesst. Diese Kreisfläche würde dem Auge wie eine transparente Scheibe auf glänzend erleuchteter Fläche erscheinen. Ist hingegen die Platte anisotrop, so treten andere Erscheinungen auf, die von der Natur der Doppelbrechung und dem Exponent (N) der umgebenden Flüssigkeit bedingt sind; im einfachsten Falle zeigt sich ausser dem Kreise noch eine Ellipse.

Die Lage des Ortes, an welchem dem beobachtenden Auge das Grenzcurvenstück erscheint, ist abhängig von dem Grenzwinkel $e'$ und dem Abstand des Auges von der Platte. Setzen wir letzteren gleich eins und machen den Projectionspunkt 0 zum Anfang eines in der Ebene der Krystallfläche liegenden rechtwinkeligen Coordinatensystems, dessen x-Axe mit der Richtung der optischen Axe zusammenfällt, so giebt uns $r = \text{tang } e'$ den Radiusvector für die in der Krystallfläche liegende Grenzcurve (Taf. VI Fig. 1).

Für unsere Kalkspathplatte // der Axe ist der Winkel zwischen der Normale der Begrenzungsfläche und Axenrichtung ($\mu$) gleich 90° und bezeichnen wir den Winkel zwischen Einfallsebene und optischer Axe (Azimuth der Einfallsebene) mit $\delta$, und seien ferner $e'$ der beobachtete Grenzwinkel, N der Brechungsindex der umgebenden Flüssigkeit, $n_1$ und $n_2$ die Hauptbrechungsindices ($n_1 > n_2$) des Kalkspaths, so erhält man nach einer kleinen Umformung aus der für ein beliebiges $\mu$ von Herrn Liebisch[1] abgeleiteten Formel die specielle:

$$\frac{1}{\sin^2 e'} = \frac{N^2}{n_1^2 n_2^2} [n_1^2 - (n_1^2 - n_2^2) \cos^2 \delta]$$

oder:

$$\frac{1}{N \sin e'} = \sqrt{\frac{\cos^2 \delta}{n_1^2} + \frac{\sin^2 \delta}{n_2^2}} \qquad (I)$$

Da $N \sin e' = n$ den mit $\delta$ variablen Index der Platte kennzeichnet, giebt somit die linke Seite der Gleichung (I) die Radienvectoren der Wellenfläche als Ergebniss der directen Beobachtung von N und $e'$, während die rechte Seite dieselbe Strecke in ihrer Abhängigkeit von dem Azimuth der Einfallsebene berechnen lehrt. Es ist leicht zu erkennen, für

[1] Liebisch, l. c. p. 206.

Digitized by Google

welche der beiden Werthe $\delta = 0^0$ oder $90^0$, die Radienvectoren $^1/n_1$, resp. $^1/n_2$ werden.

Für den Radius der Grenzcurve lässt sich schreiben:

$$r = \operatorname{tang} e' = \frac{\sin e'}{\cos e'} = \frac{\sin e'}{\sqrt{1 - \sin^2 e'}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\sin^2 e'} - 1}} \qquad (1)$$

und wenn wir für sin e' den Werth aus (I) einsetzen, so wird:

$$\operatorname{tang} e' = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{N^2}{n_1^2} - 1\right)\cos^2\delta + \left(\frac{N^2}{n_2^2} - 1\right)\sin^2\delta}} \qquad (II)$$

welche Gleichung sich auch so schreiben lässt:

$$\frac{\operatorname{tang}^2 e' . \cos^2\delta}{\frac{n_1^2}{N^2 - n_1^2}} + \frac{\operatorname{tang}^2 e' . \sin^2\delta}{\frac{n_2^2}{N^2 - n_2^2}} = 1.$$

So hat sie aber die Form:

$$\left.\begin{array}{l} \frac{x^2}{\alpha^2} + \frac{y^2}{\beta^2} = 1, \\ x = \operatorname{tang} e' . \cos\delta \\ y = \operatorname{tang} e' . \sin\delta \end{array}\right| \qquad (2)$$

wo

und

$$\left.\begin{array}{l} \alpha^2 = \frac{n_1^2}{N^2 - n_1^2} \\ \beta^2 = \frac{n_2^2}{N^2 - n_2^2}, \end{array}\right|$$

und repräsentirt somit eine Ellipse, eine Hyperbel, oder zwei der x-Axe parallele Geraden, jenachdem $\alpha^2$ positiv, negativ oder unendlich wird, in welch' letzterem Falle sich die Gleichung reducirt auf:

$$\operatorname{tang}^2 e' . \sin^2\delta = \frac{n_2^2}{N^2 - n_2^2}.$$

Mit Rücksicht auf die spätere Darlegung der Versuche sollen die Bedingungen für das Zustandekommen der 3 Fälle so formulirt werden:

$$\left.\begin{array}{l} N > n_1 > n_2 \\ n_1 > N > n_2 \\ N = n_1 > n_2 \end{array}\right| \qquad (3)$$

Es sei noch darauf aufmerksam gemacht, dass für ein bestimmtes $\delta$ die Radienvectores der Wellenfläche:

$$\left(v = \frac{1}{n} = \frac{1}{N . \sin e'}\right)$$

Digitized by Google

und die der Grenzcurve ($r = \text{tang } e'$) vermöge Gleichung (1) durch die Beziehung:

$$r = \frac{1}{\sqrt{N^2 v^2 - 1}} = \frac{n}{\sqrt{N^2 - n^2}} \qquad (4)$$

verknüpft sind. r hat nur solange einen positiven reellen Werth, der zwischen Null und Unendlich liegt, als der Werth unter dem Wurzelzeichen nicht negativ wird. Das tritt aber für ein solches Azimuth $\delta$ ein, für welches der Exponent (n), der zwischen $n_1$ und $n_2$ variirt, sich über den Exponenten (N) der Flüssigkeit erhebt. In diesem Fall wird r unmöglich.

2) Die Untersuchungen von Sénarmont[1]. Schon im Jahre 1856 hat de Sénarmont die Gesetze der Doppelbrechung einer Prüfung unterworfen, gegründet nicht auf vereinzelte Messungen ohne Zusammenhang, sondern auf eine Untersuchungsmethode, „die im Stande ist, ein Ganzes gleichzeitiger Effecte in einer gemeinschaftlichen Kundgebung zu umfassen, so dass der Versuch selbst eine materielle Übersetzung und graphische Darstellung ihrer Continuitätsbedingungen wird".

Leider scheinen die von de Sénarmont durch logische Induction gefundenen schönen Resultate in neuester Zeit fast der Vergessenheit anheimgefallen zu sein und hat erst Hr. Liebisch in seiner zweiten Mittheilung (vergl. oben p. 168) denselben volle Gerechtigkeit widerfahren lassen.

Bei dem Streben nach Verwirklichung seiner Bestrebungen stiess Sénarmont auf Schwierigkeiten, die vorwiegend dem Mangel an flüssigen und starren Substanzen von geeigneter Beschaffenheit entsprangen.

Mit Rücksicht auf unseren Specialfall hebe ich aus den für verschiedene Schnittflächen optisch ein- und zweiaxiger Krystalle gefundenen Resultaten folgende hervor:

„Der Krystall sei repulsiv:

1. Wenn der Index des aufgelegten Mittels grösser ist als der grösste Index des Krystalls:

so ist der erste Farbenring kreisrund und er entspricht den ordentlichen Strahlen; der zweite ist im Allgemeinen elliptisch und mit dem ersten

[1] de Sénarmont: Recherches sur la double réfraction. Compt. rend. 1856. 42. p. 65. (Pogg. Ann. 97. p. 605—616.)

Digitized by Google

concentrisch; sein kleinster Durchmesser ist winkelrecht zum Hauptschnitt und für jegliche Neigung der brechenden Ebene gegen die optische Axe unveränderlich. Der elliptische Ring ist überdiess vom kreisrunden beständig eingeschlossen.

Wäre die brechende Ebene winkelrecht zur optischen Axe, so würde der zweite Ring kreisrund sein wie der erste und innerhalb desselben liegen.

Wäre die brechende Ebene // der optischen Axe, so bliebe der zweite Ring elliptisch und tangirte an den Enden seines grössten Durchmessers den kreisrunden Ring.

2. Wenn der Index des aufgelegten Mittels gleich ist dem grössten der beiden Haupt-Indices des Krystalls:

so verschwindet der kreisrunde Ring. Der zweite Ring ist im Allgemeinen elliptisch und sein grösster Durchmesser ist // dem Hauptschnitt.

Wäre die brechende Ebene winkelrecht zur optischen Axe, so würde der zweite Farbenring kreisrund sein.

Wäre die brechende Ebene // der optischen Axe, so würde sich der zweite Ring auf zwei dem Hauptschnitt parallele Gerade reduciren.

3. Liegt der Index des aufgelegten Mittels zwischen den beiden Hauptindexen des Krystalls:

so verschwindet der erste Farbenring; was den zweiten betrifft, so ist immer einer seiner Hauptdurchmesser winkelrecht zum Hauptschnitt und von constanter Länge für jegliche Neigung der brechenden Ebene gegen die optische Axe.

Übrigens würde er, wenn diese brechende Ebene winkelrecht zur optischen Axe wäre, kreisrund sein, würde, mit seinem grössten Durchmesser // dem Hauptschnitt, desto elliptischer werden, je mehr die brechende Ebene gegen dieselbe Axe neigte; er würde sich, wenn diese Neigung einen bestimmten Werth überstiege, in zwei dem Hauptschnitt parallele Gerade verwandeln und darauf die Form einer Hyperbel annehmen, deren kleiner reeller Durchmesser winkelrecht zum Hauptschnitt wäre und dessen Ex-

Digitized by Google

centricität allmählich wüchse, in dem Maasse als die brechende Ebene sich dem Parallelismus mit der optischen Axe näherte."

3) Die Neigung der Grenzlinie. — Wir bezeichnen den Neigungswinkel, welchen die im Punkte P an das Grenzcurvenstück gelegte Tangente mit der auf dem Radiusvector r errichteten Normale macht, mit $\varepsilon$ (vergl. Taf. VII Fig. 2).

Zunächst ist aus der Form der Grenzcurven ersichtlich, wie die später zu erörternde Taf. VII Fig. 5 erkennen lässt, dass in den einander gegenüberliegenden Quadranten die Grenzlinie gegen die Normale in demselben Sinne geneigt erscheint, und auch dieselbe Krümmung besitzt. Der Versuch mit dem KOHLRAUSCH'schen Totalreflectometer bestätigt dies. Stellen wir zunächst die totalreflectirende Krystallplatte so, dass die Grenzlinie durch den Durchschnittspunkt des Fadenkreuzes hindurchgeht, drehen jetzt die Platte um den doppelten Grenzwinkel (e′) und stellen wieder ein, so werden die Erscheinungen die eben geschilderten sein.

Ergiebt nun die Beobachtung auch nicht sofort den Winkel $\varepsilon$, so lehrt doch eine kleine Betrachtung den Zusammenhang zwischen $\varepsilon$ und dem beobachteten Neigungswinkel S finden.

Das Fernrohr befindet sich unter einem Winkel von $90^0 - e'$ gegen die Ebene des Krystalls geneigt, und da dem Auge das in der Begrenzungsebene liegende Curvenelement auf einer senkrecht zur Beobachtungsrichtung gezogenen Ebene projicirt erscheint, so ist der direct beobachtete und mit einem Okulargoniometer messbare Winkel S mit $\varepsilon$ durch die folgende Beziehung verknüpft (vergl. p. 188 weiter unten):

$$\text{tang } S = \text{tang } \varepsilon \,.\, \cos e'. \qquad \text{(III)}$$

Ist somit $\varepsilon$ bekannt, so lässt sich S leicht berechnen.

Über die ungefähre Grösse des Winkels $\varepsilon$ giebt die geometrische Betrachtung der Curven in Fig. 5 einigen Aufschluss. Ziehen wir nämlich durch einen Punkt P eine Parallele zur x-Axe, so ist sofort klar, dass für unsere Ellipse, Geraden und Hyperbel der Reihe nach $\varepsilon \gtreqless 90^0 - \delta$ sein muss.

Wir erhalten den genauen Werth von $\varepsilon$ aus den Gleichungen für den Radiusvector und für die in P auf die Tangente

Digitized by Google

errichtete Normale, sofern diese denselben Winkel ($\varepsilon$) einschliessen, wie Tangente und Verticale auf r (Fig. 2), zu:

$$\operatorname{tang}\varepsilon = \frac{\alpha^2 - \beta^2}{\beta^2\cos^2\delta + \alpha^2\sin^2\delta}\sin\delta\,.\cos\delta$$

oder:

$$\operatorname{tang}\varepsilon = \frac{\left(\frac{N^2}{n_2^2} - 1\right) - \left(\frac{N^2}{n_1^2} - 1\right)}{\left(\frac{N^2}{n_1^2} - 1\right)\cos^2\delta + \left(\frac{N^2}{n_2^2} - 1\right)\sin^2\delta}\,.\sin\delta\,.\cos\delta \qquad \text{(IV)}$$

oder einfacher:

$$\operatorname{tang}\varepsilon = \frac{n_1^2 - n_2^2}{n_2^2\cos^2\delta + n_1^2\sin^2\delta - \frac{n_1^2 n_2^2}{N^2}}\,.\sin\delta\,.\cos\delta. \qquad \text{(IV a)}$$

Da in Gleichung (IV) der Nenner von tang $\varepsilon$ vermöge (II) gleich dem reciproken Werthe von $\operatorname{tang}^2 e'$ ist, so lässt sich der Gleichung IV die besonders für numerische Berechnung von S äusserst bequeme und handliche Form geben:

$$\operatorname{tang} S = N^2\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2 n_2^2}\sin\delta\,.\cos\delta\,.\sin e'.\operatorname{tang} e'. \qquad \text{(V)}$$

Es gelten diese Beziehungen natürlich für Ellipse, Hyperbel und die beiden Geraden; im letzteren Falle, wo $N = n_1 > n_2$, fallen Tangente und Grenzlinie zusammen, sofern sich die Gleichung (IV) vereinfacht zu:

$$\operatorname{tang}\varepsilon = \operatorname{ctang}\delta \text{ oder: } \varepsilon = 90^0 - \delta. \qquad (5)$$

Nimmt $\delta$ von $90^0$ bis $0^0$ stetig ab, so wächst umgekehrt $\varepsilon$ von $0^0$ bis $90^0$.

Für $N > n_1 > n_2$ (Ellipse) behält tang $\varepsilon$ für alle Werthe von $\delta$ einen reellen Werth, welcher für $\delta = 0$ und $90^0$ selbst Null wird und ein Maximum erreicht für:

$$\operatorname{tang}^4\delta_m = \frac{n_2^2}{n_1^2}\frac{\left(\frac{N^2}{n_1^2} - 1\right)}{\left(\frac{N^2}{n_2^2} - 1\right)}. \qquad (6)$$

oder:

$$\operatorname{tang}\delta_m = \frac{n_2}{n_1}\cdot\sqrt[4]{\frac{N^2 - n_1^2}{N^2 - n_2^2}}. \qquad (6a)$$

Für $n_1 > N > n_2$ (Hyperbel) wächst $\varepsilon$ von Null bis $90^0$, sobald $\delta$ abnimmt von $90^0$ bis zu einem Grenzwerthe $\delta_g$, welcher die Neigung der Asymptote anzeigt und sich bestimmt zu:

$$\operatorname{tang}\delta_g = \sqrt{\frac{n_2^2}{n_1^2}\frac{n_1^2 - N^2}{N^2 - n_2^2}}. \qquad (7)$$

Digitized by Google

4) Allgemeine Ableitung für die Form der Grenzcurve an einem beliebig gezogenen Schnitte eines einaxigen Krystalls. — Neigung der Grenzlinie. — Die für eine beliebig gelegene Schnittfläche eines optisch einaxigen Krystalls gültige allgemeine Gleichung[1] ($a > c$):

$$\frac{\sin^2 i_0}{v^2} = \frac{1}{a^2} \cdot \frac{a^2 - (a^2 - c^2)\cos^2\mu}{a^2 - (a^2 - c^2)(\cos^2\mu + \sin^2\mu\cos^2\delta)} \qquad \text{(VIa)}$$

lässt sich zunächst so schreiben:

$$\frac{v^2}{\sin^2 i_0} = a^2 \frac{c^2 + (a^2 - c^2)\sin^2\mu\sin^2\delta}{a^2 - (a^2 - c^2)\cos^2\mu}.$$

Führen wir unsere Bezeichnungsweise ein, ersetzen insbesondere die Lichtgeschwindigkeiten durch die reciproken Exponenten ($v = {}^1/N$, $a = {}^1/n_2$, $c = {}^1/n_1$), so wird:

$$\frac{1}{\sin^2 e'} = \frac{N^2}{n_2^2} \frac{n_2^2 + (n_1^2 - n_2^2)\sin^2\mu \cdot \sin^2\delta}{n_1^2 - (n_1^2 - n_2^2)\cos^2\mu} \qquad \text{(VI)}$$

Für den Radiusvector r der in der Fläche liegenden Grenzcurve leitet sich vermöge der Beziehung (1) p. 171 und obiger Gleichung VI ab:

$$r^2 = \operatorname{tang}^2 e' = \frac{n_2^2[n_1^2 - (n_1^2 - n_2^2)\cos^2\mu]}{N^2 n_2^2 - n_2^2[n_1^2 - (n_1^2 - n_2^2)\cos^2\mu] + N^2(n_1^2 - n_2^2)\sin^2\mu \cdot \sin^2\delta} = \frac{P}{Q + M \cdot \sin^2\delta} \qquad \text{(VII)}$$

Indem wir wieder die Curve auf ein rechtwinkeliges ebenes Coordinatensystem beziehen, so dass

$$r \cdot \sin\delta = y \quad , \quad r \cdot \cos\delta = x$$

wird:

$$\frac{\operatorname{tang}^2 e \cdot \cos^2\delta}{P/Q} + \frac{\operatorname{tang}^2 e \cdot \sin^2 e}{P/(Q + M)} = 1 \qquad \text{(8)}$$

Im einfachsten Falle stellt also diese Gleichung wieder eine Ellipse dar, deren Halbaxen definirt sind durch:

$$\left.\begin{aligned} a^2 &= P/Q = 1/\left(\frac{N^2}{n_1^2\sin^2\mu + n_2^2\cos^2\mu} - 1\right) \\ b^2 &= P/(Q + M) = 1/\left(\frac{N^2}{n_2^2} - 1\right) \end{aligned}\right| \qquad \text{(9)}$$

Unsere früheren speciellen Formeln für eine // der optischen Axe geschliffene Fläche leiteten sich hieraus bequem ab, sobald man $\mu = 90^0$ einsetzt.

---

[1] Liebisch, l. c.

Digitized by Google

Für den Neigungswinkel $\varepsilon$ erhalten wir den Ausdruck, in welchem der Einfachheit halber $(n_1^2 \sin^2\mu + n_2^2 \cos^2\mu) = \mathfrak{N}^2$ gesetzt ist,

$$\operatorname{tang}\varepsilon = \frac{\left(\frac{N^2}{n_2} - 1\right) - \left(\frac{N^2}{\mathfrak{N}^2} - 1\right)}{\left(\frac{N^2}{\mathfrak{N}^2} - 1\right)\cos^2\delta + \left(\frac{N^2}{n_2^2} - 1\right)\sin^2\delta} \sin\delta \cdot \cos\delta \qquad \text{(VIII)}$$

woraus sich wieder für $\mu = 90^0$ die übersichtlichere Formel auf Seite 175 ableitet.

Ich will zum Schluss noch hinzufügen, dass für den ordentlich gebrochenen Strahl ($n_1$) die Grenzlinie, sofern sie überhaupt sichtbar ist, und das ist nur für $N > n_1$ der Fall, immer vertical erscheint. Die Grenzcurve bildet wie für jeden isotropen Körper einen in sich geschlossenen Kreis, der für $N \lessgtr n_1$ überhaupt nicht sichtbar ist.

## II.

5) Das Beobachtungsverfahren: Das Princip des Kohlrausch'schen Totalreflectometers. Bestimmung des Grenz- und Neigungswinkels (e′ und S). Das zur Messung des letzteren dienende Okulargoniometer. Theilkreise. Die benutzten Flüssigkeiten und deren Exponenten.

Die Versuche, welche im Folgenden beschrieben werden sollen, habe ich in diesem Frühjahre mit Hilfe des Kohlrausch'schen Totalreflectometers[1] ausgeführt.

Dieselben wurden in der folgenden Weise begonnen. Auf dem Tischchen eines Spectrometers waren befestigt ein stark lichtbrechendes Merz'sches Prisma (br. W. $= 60^0$, $N_D = 1{,}7528$) und die dem Kohlrausch'schen Totalreflectometer entnommene Drehvorrichtung. Die einer Fläche des Prismas senkrecht gegenüberstehende Axe des Theilkreises trug angekittet die Krystallplatte. Ein kleiner Flüssigkeitstropfen von mittlerem Exponenten genügte, um die enge Verbindung von Platte und Prismenfläche herzustellen und somit die Messung der Lichtgeschwindigkeiten zu ermöglichen.

Um dieselbe Zeit lernte ich die nach demselben Princip mit weit vollkommeneren Hilfsmitteln ausgeführte Arbeit des

[1] F. Kohlrausch, Wied. Ann. 1878. 4. 1; 1882. 16. 609.



Digitized by Google

Herrn Danker kennen. Ich bin deshalb, besonders auch weil mir die Benutzung des Kohlrausch'schen Apparates zuerst einfacher erschien, zu diesem zurückgekehrt.

Meine Messungen beziehen sich auf eine zur optischen Axe parallele Schlifffläche von Kalkspath; die Platte war von Dr. Steeg und Reuter in Homburg v. d. H. bezogen. Natronsalpeter, der sich durch eine noch stärkere Doppelbrechung auszeichnet, gab nach den Beobachtungen von W. Kohlrausch[1] wegen der Empfindlichkeit der polirten Flächen niemals scharfe und reine Grenzbilder. Ich habe deshalb Kalkspath den Vorzug vor Natronsalpeter gegeben, obgleich für diesen nicht leicht eine geeignete Flüssigkeit gefunden werden kann, welche den ordinaren Strahl mit umfasst.

Die 5 Flüssigkeiten, welche im Totalreflectometer zur Verwendung kamen, waren sämmtlich wasserklar. Es sind: 1) Eine concentrirte Lösung von Phosphor in Schwefelkohlenstoff, 2) Monobromnaphtalin, 3) Schwefelkohlenstoff, 4) Anilin und endlich 5) Aethylenbromid. Das Nähere über die Flüssigkeiten soll weiter unten angeführt werden. —

Die Theorie des Kohlrausch'schen Instrumentes wie dessen Handhabung sind hinlänglich bekannt. Die Krystallplatte wurde mittelst Gummi arabicum an eine Korkscheibe befestigt und diese auf die 3 Spitzen des mit Verticalkreis versehenen Trägers aufgesteckt. Die Bedingungen für eine genaue Orientirung der Platte sind folgende: Die Krystallfläche muss // zur Drehungsebene des verticalgestellten Theilkreises liegen, während Flächennormale und optische Axe des Fernrohrs sich stets senkrecht zur Drehungsaxe des Instruments befinden. Man lässt dabei durch Zurückbiegen der Kugelgelenke die Fläche möglichst mit der Drehungsaxe zusammenfallen.

Die gelungene Orientirung der Fläche ist daran zu erkennen, dass erstens das Spiegelbild eines in gleicher Höhe befindlichen fernen Gegenstandes bei Drehen der Platte in ihrer Ebene selbst keine Kreisbewegung macht und dass zweitens sämmtliche Bilder von Gegenständen, welche in gleicher Höhe vom Erdboden an verschiedenen Stellen des

[1] W. Kohlrausch, l. c.

Digitized by Google

Zimmers aufgestellt sind, stets die Mitte des Fadenkreuzes bei Drehen der Verticalaxe passiren.

Erst jetzt wird das mit der stärker brechenden Flüssigkeit gefüllte Fläschchen übergeschoben uud durch Beleuchtung rechts und links die Messung des doppelten Grenzwinkels ausgeführt.

Die Anwendung einer transparenten Umhüllung habe ich für weniger vortheilhaft gefunden und dieselbe fortgelassen. Die über ein Meter entfernte Natronflamme — alle Messungen wurden bei dem homogenen Natronlicht gemacht — sandte ihre Lichtstrahlen, welche durch eine grössere Linse zusammen. gehalten wurden, direct auf die Platte. Die durch den Strahlenkegel erzielte „diffuse Beleuchtung" besitzt den Vorzug grösserer Helligkeit.

Schon bei den ersten Beobachtungen am Prisma (p. 177) fiel es auf, dass die Grenzlinie schärfer und deutlicher hervortrat bei Benutzung von nur streifend einfallenden Lichtstrahlen. Das Gesichtsfeld ist jetzt nicht mehr in zwei Hälften von Hell und weniger Hell eingetheilt (vergl. p. 169), sondern es schliesst sich die Region der gebrochenen Strahlen direct an ein Gebiet vollständiger Dunkelheit an. Auch bei dem KOHLRAUSCH'schen Totalreflectometer habe ich streifend einfallendes Licht benutzt und mich nur ab und zu von der Coincidenz der Grenzlinie mit der bei totaler Reflexion auftretenden Grenzlinie überzeugt.

Bei einiger Übung und fortgesetztem Probiren findet man schnell und sicher die Grenzlinie, die bei allen meinen Beobachtungen scharf hervortrat. —

Der horizontal liegende Theilkreis war mit 2 Nonien versehen, die um 180° auseinander lagen. Die Ablesungen gaben direct 6′ an, wobei noch auf 3′ geschätzt wurde. Zuerst wurde aus beiden Ablesungen das Mittel genommen. Später habe ich mich nach Anfertigung einer Correctionstabelle auf Nonius I beschränkt. Im Mittel wichen die durch I erhaltenen Grenzwinkel in Folge einer starken Excentricität des Kreises um 10′—12′ von den Ergebnissen des Nonius II. ab.

Gern hätte ich den winzigen, in der Flüssigkeit befindlichen Theilkreis (mit einem Durchmesser von nur 2,5 cm.)



Digitized by Google

durch einen etwas grösseren ersetzt. Aber die Grössenverhältnisse und die Form des Fläschchens gestatteten das nicht[1]. Der Nonius gab direct einzelne Grade an; die in den Tabellen angeführten Zehntel beruhen auf Schätzung. Die Angaben des Theilkreises sind die mit $\delta$ bezeichneten Azimuthe der Einfallsebene. Liegt die optische Axe horizontal, fällt sie somit mit der Einfallsebene zusammen, so ist $\delta = 0$. Diese Stellung wurde durch graphisches Einzeichnen der in benachbarten Quadranten gemachten Messungen (e') gefunden.

In der Regel habe ich für jede neue Einstellung das Fläschchen herunter genommen. Nur für die Phosphorlösung wurde die Drehung der Scheibe durch Anbringung von kleinen Speichen und mit Hülfe eines durch eine Öffnung in der Decke eingeführten Drahtes bewirkt. In allen Fällen geschah die Ablesung von $\delta$, während sich der Theilkreis in der Flüssigkeit befand.

Das dem KOHLRAUSCH'schen Totalreflectometer beigegebene kleine Fernrohr habe ich behufs Messung des Winkels S, der Neigung der Grenzlinie gegen die Verticale, durch ein grösseres ersetzt. Das drehbare Fadenkreuz war an einem Theilkreis befestigt, der 2 Min. abzulesen gestattete.

Zur Bestimmung des Nullpunktes suchte ich zuerst mit dem rechten Auge den Faden des Fadenkreuzes einer mit dem linken Auge fixirten Verticale (Thürleiste) parallel zu stellen. Sah dann das linke Auge durch, so musste der Faden um fast $6^0$ im umgekehrten Sinne des Uhrzeigers gedreht werden, um wieder zu der mit dem rechten Auge fixirten Verticale parallel zu erscheinen. Die Einstellungen wurden wiederholt und schliesslich dem Faden die Mittelstellung gegeben. Von hier aus wurden die Winkel S gezählt. — Es ist dieselbe Erscheinung, welche für denjenigen, welcher sie zum ersten Male sieht, etwas höchst Auffallendes hat, von HELMHOLTZ[2] (und VOLKMANN) — freilich in einer etwas an-

[1] Es ist das ein dem Totalreflectometer für Krystalluntersuchungen anhaftender Mangel. Besonders störend wirkt die starke Verengerung des Halses, die übrigens auch fortfallen könnte.

[2] HELMHOLTZ, Physiologische Optik p. 546. Vergl. auch W. KOHLRAUSCH, Dissert. p. 12, Anm. 1. WIEDEM. Ann. 6.

Digitized by Google

deren Form — als die Erscheinung der scheinbaren Verticalstellung einer Geraden bezeichnet, und findet ihre Erklärung in der Neigung der Geraden gegen den Netzhauthorizont.

Die Messung des Winkels S wurde bei Beleuchtung rechts und links gleichzeitig mit den Messungen des Grenzwinkels ausgeführt und aus beiden Daten das Mittel genommen. Die in demselben Sinne auftretenden Abweichungen, welche sich rechts und links ergaben und für grössere Werthe von S oft mehrere Grade überstiegen, sind wohl der nicht vollkommen gelungenen Orientirung der Platte zuzuschreiben.

Die Brechungsexponenten der Flüssigkeiten und deren Änderungen mit der Temperatur wurden sorgfältig mit einem grossen MEYERSTEIN'schen Spectrometer gemessen, und finden sich in der folgenden Tabelle I zusammengestellt. Mit Rücksicht auf die später zu berechnende Beobachtungsreihe des Herrn DANKER[1] ist dessen Glasprisma mit angeführt.

Tabelle I.

| No. | Flüssigkeit | T° Celsius | $N_{T°}$ | Änderung des Exponenten für 1° Cels. |
|---|---|---|---|---|
| I. | Phosphor in Schwefelkohlenstoff | 20°.0 | 1.71898 | 0.00076 |
| II. | α-Monobromnaphtalin | 16.2 | 1.65850 | 0.00044 |
| III. | Prisma von DANKER | (21.5) | 1.65011 | — |
| IV. | Schwefelkohlenstoff | 15.0 | 1.63190 | 0.00083 |
| V. | Anilin | 21.0 | 1.58325 | 0.00051 |
| VI. | Aethylenbromid | 22.5 | 1.53631 | 0.00055.5 |

Das im Fläschchen des Totalreflectometers befindliche kleine Thermometer gestattete die Temperatur der Flüssigkeit bis auf einige Zehntel Grade genau zu bestimmen. Vermittelst der Beziehung:

$$\sin e'_T = \frac{N_{t°}}{N_T} \sin e'_{t°}$$

werden die bei der Temperatur $t^0$ gemessenen Grenzwinkel auf die Normaltemperatur (T) reducirt.

Von einer Reduction auch der Neigungswinkel S auf eine bestimmte Temperatur musste natürlich Abstand genommen werden.

[1] DANKER l. c. p. 65.

Digitized by Google

6) Die Beobachtungen; Prüfung der sub 1) entwickelten theoretischen Beziehungen für den Grenzwinkel e' und den Neigungswinkel S. — Die in diesem Paragraphen aufgeführten Beobachtungen und Rechnungen sind nach den vorangegangenen Erläuterungen leicht verständlich; es soll nur das Nöthigste bei jeder Reihe gesagt werden. — Überall habe ich die von RUDBERG[1] gefundenen Hauptbrechungsindices des Kalkspaths:

$$n_1 = 1.65850$$
$$n_2 = 1.48635$$

zu Grunde gelegt.

Wie schon oben bemerkt, hielt es für Kalkspath bei Benutzung des KOHLRAUSCH'schen Verfahrens schwer, in solchen Quantitäten eine brauchbare Flüssigkeit zu finden, die den ordinären Strahl mit umfasst. Wenn ich schliesslich auch in einer selbstbereiteten concentrirten Phosphorlösung in Schwefelkohlenstoff eine verhältnissmässig recht brauchbare und wasserklare Flüssigkeit fand, so war das Arbeiten mit ihr wegen der grossen Feuergefährlichkeit immerhin etwas behindernd. Tabelle II zeigt die gewonnenen Resultate.

Tabelle II.

**Kalkspath // der Axe in Phosphor und Schwefelkohlenstoff.**

| No. | $\delta$ | reducirt auf 20° beobachtet e (ord.) | reducirt auf 20° beobachtet e' (extraord.) | ber. e' extraord. | $\Delta$ | $t^0$ Celsius | $S_{t^0}$ beobachtet | $S_{20^0}$ berechnet | $\Delta$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 90°.0 | — | — | 59°51′ | — | — | — | 0° | — |
| 2 | 88.7 | 74°42′ | 59°47′ | 59 51 | — 4′ | 19°.1 | 0°23′ | 0°28′ | — 5′ |
| 3 | 68.1 | 74 43 | 61 12 | 61 15 | — 3 | 19.3 | 8 28 | 8 17 | + 11 |
| 4 | 56.1 | — | 63 8 | 63 11 | — 3 | 19.7 | 12 17 | 12 9 | + 8 |
| 5 | 46.0 | — | 65 25 | 65 21 | + 4 | 19.7 | 14 30 | 14 36 | — 6 |
| 6 | 34.1 | — | 68 25 | 68 23 | + 2 | 19.8 | 16 37 | 16 0 | + 37 |
| 7 | 26.1 | — | 70 35 | 70 43 | — 8 | 19.9 | 15 10 | 15 41 | — 31 |
| 8 | 18.6 | 74 50 | 72 12 | 72 22 | — 10 | 20.1 | 13 2 | 13 25 | — 23 |
| 9 | 18.1 | 74 47 | 72 28 | 72 28 | + 0 | 20.0 | 13 0 | 13 12 | — 12 |
| 10 | 10.0 | 74 46 | 74 0 | 74 0 | ∓ 0 | 20.1 | 8 28 | 8 35 | — 7 |
| 11 | 5.1 | 74 48 | 74 36 | 74 33 | ∓ 3 | 20.1 | 4 43 | 4 39 | + 4 |
| 12 | 0 | — | — | 74 45 | — | — | — | 0° | — |

Mittel: 74°46′ beob.

74 45 berechnet nach $\sin e = \frac{n_1}{N}$.

e' berechnet nach (II) mit Hülfe der Werthe:

$N = 1.71898$ $n_1 = 1.65850$ $n_2 = 1.48635$.

$S_{20^0}$ berechnet nach (III) und (IV) bezw. (V).

[1] Siehe DANKER l. c. p. 263.

Digitized by Google

Die Übereinstimmung der Grenzwinkel ist eine recht befriedigende und was die Neigungswinkel S angeht, so finden die Differenzen in den vorhandenen Temperaturunterschieden sowohl, wie in der oben besprochenen fehlerhaften Orientirung der Platte ihre Erklärung. — Es gilt dies durchweg für alle weiteren Tabellen.

Einen besseren Überblick liefern die auf den Tafeln VI und VII entworfenen Zeichnungen für e′ (Fig. 3), S (Fig. 4) und für die in der Krystallfläche liegenden Grenzcurven selbst: $x = \operatorname{tg} e' . \cos \delta$, $y = \operatorname{tg} e' . \sin \delta$ (Fig. 5). Als Abscissen sind in den beiden ersten Figuren die Ablesungen des verticalen Theilkreises, also die Azimuthe der Einfallsebene ($\delta$) aufgetragen. Die Ordinaten bilden die Grenz- bezw. Neigungswinkel. Fig. 5 endlich giebt ein übersichtliches Bild von den Grenzcurven, wie sie ein über der Mitte O der Platte in der betreffenden Flüssigkeit befindliches Auge erblicken würde.

Die zweite Flüssigkeit, Monobromnaphtalin, von Kahlbaum in Berlin als schöne, klare Lösung bezogen, wurde mit Rücksicht auf die Bedingung $N = n_1 > n_2$ (p. 171) behandelt. Letztere trifft zu für $\tau^0 = 16{,}2^0$ Celsius.

Tabelle III.

**Kalkspath // der Axe in Monobromnaphtalin.**

| No. | $\delta$ | | reducirt auf 16°.2 Cels. e′ beob. | e′ ber. | $\Delta$ | Temp. $t^0$ | $S_t$ beobachtet | $S_{16°.2}$ berechnet | $\Delta$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 70°.6 | I. | 64°54′ | 64°58′ | − 4′ | 16°.7 | + 8°10′ | + 8°28′ | −18′ |
| 2 | 79.9 | | 63 54 | 64 1 | − 7 | 16.6 | + 4 26 | + 4 28 | − 2 |
| 3 | 89.4 | | 63 36 | 63 40 | − 4 | 16.3 | + 0 31 | + 0 16 | +15 |
| 4 | 90 | II. Quadrant | — | 63 40 | — | — | — | 0 | — |
| 5 | 61.6 | | 66 23 | 66 28 | − 5 | 16.7 | −12 6 | −12 11 | − 5 |
| 6 | 49.8 | | 69 18 | 69 17 | + 1 | 17.7 | −16 45 | −16 39 | + 6 |
| 7 | 40.1 | | 72 18 | 72 19 | − 1 | 17.3 | −19 25 | −19 50 | −25 |
| 8 | 32.1 | | 75 28 | 75 16 | −12 | 15.2 | −21 58 | −22 4 | − 6 |
| 9 | 22.1 | | 79 35 | 79 27 | + 8 | 16.3 | −24 30 | −24 16 | +14 |
| 10 | 14.1 | | 83 11 | 83 8 | + 3 | 17.3 | −26 6 | −25 27 | +39 |
| 11 | 10 | | — | 85 5 | — | — | — | −25 55 | — |
| 12 | 5 | | — | 87 32 | — | — | — | −26 15 | — |
| 13 | 0 | | — | 90 — | — | — | — | — | — |
| 14 | 69.9 | I. | 64 59 | 65 4 | + 5 | 19.0 | + 9 2 | + 8 46 | +16 |

$\delta g = 0^0$

Digitized by Google

Hier vereinfacht sich die Rechnung ganz bedeutend. An die Stelle von Gl. (II) tritt

$$\text{tang } e' \,.\, \sin \delta = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{n_1^2}{n_2^2} - 1\right)}} \qquad (10)$$

und ebenso wird Gl. (V) ersetzt durch

$$\text{tang } S = \frac{\cos e'}{\text{tang } \delta} \qquad (11)$$

Die drei folgenden Tabellen IVa, b und c umfassen die mit Schwefelkohlenstoff angestellten Messungen. Dieselben sind zu Beginn der Untersuchung ausgeführt worden und am weitesten ausgedehnt. So habe ich für sämmtliche 4 Quadranten die Grenzwinkel bestimmt. Tabelle IVa, welche die Ergebnisse in einem der 4 Quadranten darstellt, enthält die Radienvectores des Durchschnitts der Wellenfläche mit der Ebene des Krystalles und ermöglicht die Vergleichung meiner Beobachtungen mit denen von Wilh. Kohlrausch und Danker. — Tabelle IVb ist wieder in obiger Weise gehalten; e' (beob.) ist das durch graphisches Interpoliren aus sämmtlichen Quadranten gewonnene Resultat. Demzufolge ist die Übereinstimmung mit den berechneten Grenzwinkeln etwas besser. — Die Messungen S in Tabelle IVc wurden nachträglich erledigt, und erklären sich die einseitigen negativen $\Delta$ durch die durchweg höhere Temperatur t.

Tabelle IVa.

**Kalkspath // der Axe in Schwefelkohlenstoff.**

| $\delta$ | e' red. auf 15° | $v = \frac{1}{N \sin e'}$ beobachtet | $\sqrt{a^2 - (a^2 - c^2)\cos^2\delta}$ berechnet | $\Delta$ |
|---|---|---|---|---|
| 90° | 65° 37′ | 0.67279 | 0.67279 | + 0 |
| 85.5 | 65 39 | 0.67262 | 0.67239 | + 23 |
| 76.5 | 66 17 | 0.66931 | 0.66910 | + 21 |
| 68.5 | 67 26 | 0.66359 | 0.66384 | − 25 |
| 57.3 | 69 43 | 0.65330 | 0.65317 | + 13 |
| 41.6 | 74 54 | 0.63470 | 0.63468 | + 2 |
| 35.8 | 77 32 | 0.62750 | 0.62774 | − 24 |
| 30.3 | 80 29 | 0.62134 | 0.62151 | − 17 |
| 25.8 | 83 28 | 0.61680 | 0.61679 | + 1 |
| 0 | — | — | 0.60295 | — |

$a = 1/n_2 = 0.67279$
$c = 1/n_1 = 0.60295$

Digitized by Google

Tabelle IVb.

| $\delta$ | reducirt auf 15° C. | | $\Delta$ |
|---|---|---|---|
| | e' beobachtet | e' berechnet | |
| 90° | 65°37' | 65°37' | ± 0 |
| 80 | 65 58 | 66 — | — 2' |
| 70 | 67 10 | 67 9 | + 1 |
| 60 | 69 4 | 69 5 | — 1 |
| 50 | 71 54 | 71 51 | + 3 |
| 40 | 75 33 | 75 34 | — 1 |
| 30 | 80 39 | 80 35 | + 4 |
| 25 | 84 6 | 84 8 | — 2 |
| 22°42' | 86 54 | 86 36 | + 18 |

$\delta_g = 21°\,28.9'$, berechnet nach (7).

Tabelle IVc.

| No. | $\delta$ | | Temp. | $S_t$ beobachtet | $S_{15°}$ berechnet | $\Delta$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 71°.9 | II. Qu. | 17.2 | — 8° 7' | — 8°30' | + 23' |
| 2. | 87°.9 | I. Quadrant | 18.2 | + 1°10' | + 1° 0' | — 10' |
| 3. | 80.4 | | 16.9 | 5 12 | 4 50 | — 22 |
| 4. | 51.4 | | 17.7 | 18 43 | 18 6 | — 37 |
| 5. | 43.4 | | 18.4 | 22 38 | 22 6 | — 22 |
| 6. | 37.6 | | 18.5 | 25 58 | 25 25 | — 33 |
| 7. | 35.3 | | 19.7 | + 28 49 | + 27 30 | — 79 |

Die vierte Flüssigkeit, Anilin, von Marquardt in Bonn bezogen, war schon bei Beginn der Beobachtungsreihe etwas gelb gefärbt, was übrigens der Schärfe der Grenzlinie keinen Eintrag that. Gegen Schluss hatte die Färbung bedeutend zugenommen. Eine nochmalige Messung des Brechungsexponenten der Flüssigkeit ergab nur eine geringe Änderung desselben. Tabelle V enthält die Resultate für Anilin.

Um zu zeigen, welch' grossen Einfluss die Temperatur auf die Neigung der Grenzlinie, S, hat, wurde die Berechnung von $S_t$ unter Zugrundelegung der berechneten Werthe $e'_t$ und $N_t$ durchgeführt. Die grossen Differenzen unter $\Delta_1$ sind fast durchweg fortgefallen.

Digitized by Google

## Tabelle V.

**Kalkspath // der Axe in Anilin.**

| No. | $\delta$ | | reducirt auf 21°.0 e' beob. | reducirt auf 21°.0 e' berechn. | $\Delta$ | Temp. $t^0$ | $S_t$ beobachtet | $S_{21°}$ berechnet | $\Delta_1$ | $S_t$ berechnet | $\Delta_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 65°.1 | I. Quadrant | 72° 55′ | 72° 58′ | − 3′ | 19°.6 | + 14° 19′ | + 14° 55′ | − 36′ | + 14° 47′ | − 28′ |
| 2 | 71.9 | I. Quadrant | 71 26 | 71 24 | + 2 | 20.5 | + 10 9 | + 10 31 | − 22 | + 10 31 | − 22 |
| 3 | 83.1 | I. Quadrant | 70 3 | 70 4 | − 1 | 21.1 | + 3 40 | + 3 57 | − 17 | + 3 57 | − 17 |
| 4 | 89.9 | II. Quadrant | 69 50 | 69 51 | − 1 | 21.4 | − 0 12 | − 0 3 | + 9 | − 0 3 | + 9 |
| 5 | 86.1 | II. Quadrant | 69 53 | 69 55 | − 2 | 22.0 | − 2 24 | − 2 14 | + 10 | − 2 14 | + 10 |
| 6 | 81.1 | II. Quadrant | 70 14 | 70 13 | + 1 | 22.1 | − 5 14 | − 5 6 | + 8 | − 5 7 | + 7 |
| 7 | 72.9 | II. Quadrant | 71 15 | 71 15 | ± 0 | 22.7 | − 9 57 | − 9 57 | ± 0 | − 10 1 | − 4 |
| 13 | 70.1 | II. Quadrant | 71 48 | 71 45 | + 3 | 23.0 | − 11 45 | − 11 38 | + 7 | − 11 46 | − 1 |
| 8 | 65.4 | II. Quadrant | 72 47 | 72 49 | − 2 | 22.8 | − 14 51 | − 14 39 | + 12 | − 14 43 | + 8 |
| 9 | 60.1 | II. Quadrant | 74 24 | 74 17 | + 7 | 23.2 | − 18 34 | − 18 16 | + 18 | − 18 35 | − 1 |
| 10 | 56.1 | II. Quadrant | 75 45 | 75 41 | + 4 | 23.7 | − 21 37 | − 21 26 | + 11 | − 21 48 | − 11 |
| 11 | 45.0 | II. Quadrant | 81 32 | 81 23 | + 9 | 21.8 | − 36 59 | − 36 5 | + 54 | − 36 50 | + 9 |
| 12 | 43.1 | II. Quadrant | 83 0 | 82 53 | + 7 | 22.9 | − 43 24 | − 41 32 | + 1° 52 | − 43 15 | + 9 |

$\delta_g = 38° 28',8$, berechnet nach (7) p. 175.

Digitized by Google

Die fünfte und letzte Flüssigkeit, Aethylenbromid, von MARQUARDT als eine sehr klare Flüssigkeit bezogen, beschloss die Reihe der Beobachtungen.

Tabelle VI.

**Kalkspath // der Axe in Aethylenbromid.**

| No. | $\delta$ | reducirt auf 22°.5 e' beob. | e' berechn. | $\Delta$ | Temp. $t^0$ | $S_t$ beobachtet | $S_{22°.5}$ berechnet | $\Delta$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 89° 33′ | 75° 25′ | 75° 21′ | + 4′ | 21°.7 | 0° 40′ | 0° 22′ | + 18′ |
| 2 | 82 3 | 51 | 75 46 | + 5 | 21.8 | 6 32 | 6 17 | + 15 |
| 3 | 78 15 | 76 23 | 76 17 | + 6 | 22.0 | 9 43 | 9 28 | + 15 |
| 4 | 75 3 | 40 | 76 40 | ± | 22.2 | 11 26 | 11 25 | + 1 |
| 5 | 73 33 | 77 19 | 77 13 | + 6 | 22.5 | 13 54 | 13 48 | + 6 |
| 6 | 70 45 | 57 | 77 57 | ± | 22.7 | 16 6 | 16 43 | − 37 |
| 7 | 69 27 | 78 25 | 78 23 | + 2 | 22.8 | 18 34 | 18 12 | + 22 |
| 8 | 65 51 | 79 33 | 79 40 | − 7 | 23.0 | 22 48 | 22 57 | − 9 |
| 9 | 65 3 | 80 4 | 80 1 | + 3 | 23.1 | 24 31 | 24 14 | + 17 |
| 10 | 61 45 | 81 29 | 81 42 | − 13 | 23.4 | 29 58 | 30 44 | − 46 |
| 11 | 60 15 | 82 40 | 82 40 | ± | 23.4 | 34 55 | 34 55 | ± |
| 12 | 57 9 | 85 15 | 85 24 | − 9 | 23.5 | 50 20 | 49 54 | + 26 |

$\delta_g = 55° 14'$, ber. nach (7).

III.

Konnte im Vorstehenden die Richtigkeit der sub I entwickelten Formeln an eigenen nach dem KOHLRAUSCH'schen Princip durchgeführten Messungen dargethan werden, so hat es ferner einiges Interesse, auch die nach dem prismatischen Verfahren vorliegenden, bereits oben erwähnten Messungen des Herrn DANKER zu berechnen. Diese beziehen sich auf Kalkspath // der Axe (Tab. III l. c. p. 265), Aragonit von Bilin, Grenzebene b = 010 (Tabelle V p. 272) und Kalkspath, Spaltfläche a (Tabelle X p. 284).

7) Einfluss der Brechung auf den Neigungswinkel. Bezeichnen wir wieder wie oben mit $\varepsilon$ den Winkel, welchen die in P an das Grenzcurvenstück gelegte Tangente PT mit der in P auf dem Radiusvector errichteten Normale TN macht, so gelangt man zu einem mathematischen Zusammenhange dieses Winkels mit dem von DANKER gemessenen Winkel S durch folgende Überlegung.

Die beiden Prismenflächen I und III mit dem brechenden Winkel $\varphi$ seien KT und KB (Fig. 6).

Digitized by Google

Es ist klar, dass für ein im Prisma befindliches Auge die Berechnung der Winkel S sich ebenso gestaltet, wie bei dem KOHLRAUSCH'schen Verfahren, bei welchem der aus dem stärker brechenden Medium austretende Lichtstrahl keine weitere Ablenkung erleidet. Dem auf grosse Entfernungen eingerichteten Auge erscheint das rechtwinkelige Dreieck PNT (Fig. 2) auf einer senkrecht zur Beobachtungsrichtung gezogenen Ebene (NCP), welche mit der ersteren Ebene den Winkel e' bildet, projicirt. Während PN, als Schnittlinie der beiden Ebenen unverkürzt erscheint, sind die Strecken NC und NT durch die Beziehung $NC = NT \cos e'$ verknüpft, so dass wie früher (Gl. III)

$$\text{tang } S_1 = \frac{NC}{NP} = \text{tang } \varepsilon \,.\, \cos e'.$$

Auch nach der bei Fläche III erfolgten Brechung des Lichtstrahlenprismas NCP — ABP bleibt die Strecke NP, welche der vertical stehenden brechenden Kante des Prismas parallel ist, unverändert, sodass nur NC modificirt erscheint.

Sofern sich den bei A und B gebrochenen Strahlen die Ein- und Austrittswinkel $\vartheta$ und $\vartheta'$ zuordnen, lässt sich schreiben:

$$AB = \frac{BD}{\cos \vartheta'} = NP \,.\, \frac{\text{tang } \varepsilon \,.\, \cos e'}{\cos \vartheta'},$$

und indem wieder AB auf eine senkrecht zur optischen Axe des Fernrohrs gezogene Ebene zu projiciren ist, welche mit Fläche III den Winkel $\vartheta$ bildet, so dass

$$AE = AB \,.\, \cos \vartheta,$$

erhalten wir schliesslich für den von DANKER beobachteten und mit S bezeichneten Neigungswinkel:

$$\text{tang } S = \frac{\cos \vartheta}{\cos \vartheta'} \cos e' \,.\, \text{tang } \varepsilon \,^1. \qquad \text{(IX)}$$

worin $\varepsilon$ den früheren Werth hat.

Da $\vartheta$ und $\vartheta'$ durch die Beziehung $\frac{\sin \vartheta'}{\sin \vartheta} = N$ verknüpft sind, folgt:

$$\text{tang } S = \frac{\cos \vartheta}{\sqrt{1 - N^2 \sin^2 \vartheta}} \cos e' \,.\, \text{tang } \varepsilon. \qquad \text{(IX a)}$$

---

[1] Eine zweite etwas umständlichere Ableitung führt auf denselben Ausdruck; desgleichen die Anwendung sphärischer Dreiecke.

Digitized by Google

In den Danker'schen Tabellen finden sich die Werthe für $\vartheta$ überall angegeben.

Die Beziehung IX bleibt noch bestehen, wenn sich die Lage des total reflectirten Lichtstrahles N A zur Fläche III so gestaltet, dass der austretende Strahl A F links vom Einfallsloth sich befindet, und setzen wir endlich $\vartheta = \vartheta' = 0$, so reducirt sich die Formel auf die für das Kohlrausch'sche Verfahren gültige.

8) Die Berechnung der Versuche von Danker erfolgte in doppelter Weise. Zunächst wurden aus den Geschwindigkeiten $p = {}^1/N \sin e'$ die Grenzwinkel berechnet. Diesen als „e' beobachtet" in den 3 Tabellen angeführten Winkeln sind die nach Formel (II) bezw. (VII) berechneten e' gegenüber gestellt. Im Vergleich mit den früheren Tabellen tritt die verhältnissmässig grössere Leistungsfähigkeit der von Danker angewandten Apparate deutlich hervor. Die Zahlen (e') erscheinen als directe Ergebnisse der Kohlrausch'schen Methode, sofern hier mit einer Flüssigkeit gearbeitet wird, deren Brechungsexponent genau gleich ist dem des Glasprismas.

## Tabelle VII.

**Kalkspath von Andreasberg.**

(Ebene // der optischen Axe.)

| No. | $\vartheta$ | e' beobachtet | $\Delta$ beob. — berechn. | $\varepsilon$ berechnet | S beobachtet | S berechnet | $\Delta$ beob. — berechnet |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 90° | 64°15′27″ | + 0 | 0° | 0° | 0° | + 0 |
| 2 | 85°47′ | 64 19 55 | + 0′38″ | 4°24′ | 1°59′ | 1°54.0′ | + 5.0′ |
| 3 | 83 36 | 64 25 28 | + 1 14 | 6 40 | 3 47* | 2 53.4 | + 53.4 |
| 4 | 81 16 | 64 32 41 | + 0 54 | 9 7 | 3 59 | 3 55.7 | + 3.3 |
| 5 | 76 13 | 64 57 34 | + 1 25 | 14 24 | 5 34 | 6 9.8 | — 35.8 |
| 6 | 73 48 | 65 11 33 | — 0 8 | 16 55 | 7 4 | 7 13.2 | — 9.2 |
| 7 | 71 19 | 65 31 38 | + 1 21 | 19 31 | 8 7 | 8 17.7 | — 10.7 |
| 8 | 68 44 | 65 54 51 | + 2 23 | 22 13 | 9 34 | 9 23.7 | + 10.3 |
| 9 | 66 18 | 66 14 46 | — 1 16 | 24 48 | 10 4 | 10 25.1 | — 21.1 |
| 10 | 50 — | 70° 2′ | e' berechnet | 42 7 | — | 17 9 | — |
| 11 | 20 — | 82 18 | | 76 48 | — | 29 44 | — |

$\vartheta_g = 11°46.3'$

e' und S berechnet nach (II) (IX) mit Hülfe der Werthe:

$N = 1.65011 \quad n_1 = 1.65850 \quad n_2 = 1.48635.$

Aus diesem Grunde wurden auch die Resultate der Tabelle VII (Kalkspath // der Axe) der Tabelle I und den Zeich-

Digitized by Google

nungen eingereiht, und wie man überall erkennt, passt die Danker'sche Reihe in das System der fünf Flüssigkeiten gut hinein.

Für Kalkspath // der Axe umfassen die Messungen der Neigungswinkel S kaum 24°. Da hier die Bedingung $n_1 > N > n_2$ vorliegt, so ist der Verlauf der Curve S analog den früheren (siehe Fig. 4). Die Übereinstimmung mit den berechneten Zahlenwerthen ist eine ziemlich befriedigende (s. Tabelle VII).

In der Tabelle VIII, Aragonit von Bilin, haben sämmtlich $\Delta_S$ das gleiche Vorzeichen. — Die Erklärung dieser einseitigen Abweichung bin ich geneigt, mit Bezug auf die p. 180 besprochene Erscheinung der scheinbar verticalen Meridiane, in einer fehlerhaften Bestimmung des Nullpunktes zu suchen. Da aber in der weiteren Tabelle IX die Differenzen mit dem entgegengesetzten Vorzeichen behaftet sind, so lassen sich die fraglichen Abweichungen (im Mittel 21′ bezw. 26′) mit der gegebenen Erklärung nur so vereinigen,

## Tabelle VIII.

**Aragonit von Bilin.**

(Grenzebene b = 010 = XY-Ebene.)

| No. | $\delta = (XX')$ | e′ beobachtet | $\Delta$ beob.—ber. | $\varepsilon$ berech. | S beobachtet | S berechnet | $\Delta$ beob.—ber. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 90° 0′ | 61° 16′ 32″ | + 7″ | 0° 0′ | 0° 0′ | 0° 0′ | ± 0 |
| 2 | 75 0 | 61 53 30 | + 16 | 11 5 | 5 31 | 5 16.3 | + 14′.7 |
| 3 | 70 0.5 | 62 21 46 | + 12 | 14 41 | 7 15 | 6 55.5 | + 19.5 |
| 4 | 65 1 | 62 58 0 | + 21 | 18 12 | 8 37 | 8 29.0 | + 8.0 |
| 5 | 60 1 | 63 41 35 | + 20 | 21 35 | 10 0 | 9 54.8 | + 5.2 |
| 6 | 55 0 | 64 32 15 | + 12 | 24 52 | 11 43 | 11 12.5 | + 30.5 |
| 7 | 50 1 | 65 29 22 | + 28 | 28 27 | 13 8 | 12 17.5 | + 50.5 |
| 8 | 45 0.75 | 66 31 58 | + 26 | 30 40 | 13 49 | 13 8.4 | + 40.6 |
| 9 | 39 59.5 | 67 39 21 | + 33 | 33 5 | 14 17 | 13 41.4 | + 35.6 |
| 10 | 35 0 | 68 48 50 | + 17 | 34 58 | 14 55 | 13 52.7 | + 62.3 |
| 11 | 19 59 | 72 12 56 | — 15 | 34 56 | — | 11 30.5 | — |
| 12 | 9 59 | 73 53 26 | + 7 | 24 36 | — | 6 57.2 | — |
| 13 | 0 0 | 74 30 12 | — 55 | 0 | — | 0 | — |

e′ und S berechnet nach (II) und (IX) mit Hülfe der Werthe:

$N = 1.74488$ , $n_1 = 1.68157$ , $n_2 = 1.58013$.

Digitized by Google

wenn man annimmt, dass die Grenzlinie in ersterem Falle nach rechts, im zweiten nach links geneigt war, oder umgekehrt[1].

## Tabelle IX.

**Kalkspath von Island.**

(Grenzebene Spaltfläche a.)

| No. | $\delta$ | e' beobachtet | $\Delta$ beob. — berechnet | $\varepsilon$ berechnet | S beobachtet | S berechnet | $\Delta$ beob. — ber. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19 | 89° 33′ | 64° 15′ 54″ | + 24″ | 0° 16′ | — | 0° 7′ | — |
| 17 | 78 25 | 64 31 31 | + 13 | 6 39 | 2° 54′ | 2 51 | + 3′ |
| 16 | 73 24 | 64 47 45 | — 3 | 9 27 | 3 51 | 4 2 | — 11 |
| 14 | 63 19 | 65 37 12 | — 9 | 14 44 | 5 40 | 6 8 | — 28 |
| 12 | 53 25 | 66 44 11 | — 32 | 19 14 | 7 10 | 7 45 | — 35 |
| 10 | 43 22 | 68 6 7 | — 51 | 22 37 | 8 23 | 8 39 | — 16 |
| 8 | 33 34 | 69 32 25 | — 42 | 24 3 | 8 10 | 8 40 | — 30 |
| 6 | 23 21 | 70 58 19 | + 19 | 22 23 | 7 2 | 7 23 | — 21 |
| 3 | 8 20 | 72 24 43 | + 60 | 10 51 | 2 48 | 3 10 | — 22 |
| 1 | 0 27 | 72 39 23 | + 102 | 0 4 | — | 0 — | — |

e' berechnet nach (VII) mit Hülfe der Werthe

$N = 1.65011$, $n_1 = 1.65850$, $n_2 = 1.48635$, $\mu = 45° 1' 25''$.

S berechnet nach (VIII) und (IX).

[1] Auf eine an Herrn Danker vor ganz kurzer Zeit gerichtete Anfrage bestätigt sich nicht nur diese meine Vermuthung, sondern findet noch in einem zweiten Umstande eine Stütze. Herr Danker schreibt mir, dass mit der Richtung der Grenzlinie beim Aragonit diejenige beim Schwerspath übereinstimme, und in der That haben die Differenzen der beobachteten und berechneten Werthe dasselbe Vorzeichen wie für Aragonit. Ich erlaube mir die von Herrn Danker (nach Formel (64) der bereits oben erwähnten Arbeit des Herrn Liebisch) ausgeführte Berechnung der Tabelle IX p. 280 hier folgen zu lassen:

| No. | $\delta$ | S beobachtet | S berechnet | $\Delta$ |
|---|---|---|---|---|
| 6 | 25° 0′ | 0° 44′ | 0° 51′ | — 7′ |
| 9 | 40 2,5 | 1 46 | 1 4,7 | + 41,3 |
| 11 | 49 58,5 | 1 24 | 1 4,1 | + 19,9 |
| 14 | 64 58,5 | 0 49 | 0 49,2 | + 0,2 |

$N = 1.74488$ $\quad \Delta_S$ Mittel $= + 13',5$

Die nach Gl. (IX) nöthige Correction ist dabei von mir nachträglich berücksichtigt worden.

Derselben Mittheilung zufolge war bei Kalkspath (vergl. oben Tab. VII p. 189) der Sinn der Neigung verschieden (je nach der grösseren Deutlichkeit). Doch ergiebt sich kein Zusammenhang zwischen demselben und dem Vorzeichen von $\Delta_S$, einfach wegen der Unsicherheit dieser Messungen.

Digitized by Google

Die letzte Tabelle IX (im Auszuge mitgetheilt) bezieht sich wieder auf Kalkspath, dessen optische Axe aber mit der Normale der Grenzebene den Winkel $\mu$ bildet. Es haben hier die für einen beliebigen Schnitt eines optisch einaxigen Krystalls sub 4 entwickelten Beziehungen ihre Bestätigung erhalten. Die Messungen umfassen den vollen Quadranten; die in sich geschlossene Grenzcurve bildet eine Ellipse mit den Halbaxen 3,197 und 2,074.

9) Nachtrag und Schluss.

Da Herr Danker in seinen Tabellen abwechselnd S und die Geschwindigkeit der in der Schnittlinie von Grenzebene und Einfallsebene gelegenen Strahlen ($\varsigma$) und deren Differenz mit der Wellnormalen ($p-\varsigma$) veröffentlicht, so war ich versucht, zu glauben, Herr Danker habe auch bei denjenigen Reihen, in welchen S nicht angeführt ist, deren Beobachtung vorgenommen.

Eine behufs event. Berechnung auch dieser Reihen an Herrn Danker gerichtete Anfrage vom 15. Mai cr. wurde von diesem am 19. Mai dahin beantwortet, dass „das bei seinen Messungen des Winkels S eingerichtete Ocular nicht immer benutzt werden konnte und er deshalb kein weiteres Beobachtungsmaterial zur Verfügung habe". Herr D. schreibt: „Ich hatte dazu um so weniger Veranlassung, als jene Bestimmung für mich nur eine beiläufige war und es mir zunächst nur darauf ankam, die Änderung in der Neigung der Grenzlinie zu veranschaulichen. Aus diesem Grunde bin ich auch auf eine genauere Ermittelung des Nullpunktes nicht eingegangen, so dass die einseitigen Abweichungen in der angeführten Tabelle wohl, wie Sie vermuthen, auf einen Fehler hierin zurückzuführen sein mögen."

Etwas überrascht wurde ich Tags darauf durch die Übersendung eines Revisonsabzugs der einige Wochen später erschienenen und oben kurz erwähnten Arbeit des Herrn Liebisch (vergl. p. 168 und 169).

Für den von mir behandelten Fall einer zur optischen Axe parallelen Grenzebene erhält Liebisch ($a > c$):

$$(61^*) \qquad \cos\chi = \frac{(a^2 - c^2)\sin\delta\cdot\cos\delta}{\sqrt{a^2(a^2 - v^2)\sin^2\delta + c^2(c^2 - v^2)\cos^2\delta}}$$

worin $\chi = 90^0 - S$, a, c, v und $\delta$ die obige Bedeutung haben.

Digitized by Google

Es lässt sich diese Gleichung auf unsere Form (V) p. 175 bringen. Denn da

$$\cos \chi = \sin S$$

und

$$\text{tang } S = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\sin^2 S} - 1}},$$

so erhält man nach einiger Umformung:

$$\text{tang } S = \frac{(a^2 - c^2) \sin \delta \,.\, \cos \delta}{\sqrt{(a^2 - (a^2 - c^2)\cos^2 \delta)^2 - v^2 (a^2 - (a^2 - c^2)\cos^2 \delta)}}.$$

Wenn wir wieder die Geschwindigkeiten durch die reciproken Werthe der Exponenten ersetzen, wird:

$$\text{tang } S = N^2 \frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2 \,.\, n_2^2} \sin \delta \,.\, \cos \delta \,.\, \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\sin^2 e'}\right)^2 - \frac{1}{\sin^2 e'}}}$$

worin

$$\frac{1}{\sin^2 e'} = \frac{N^2}{n_1^2 n_2^2} (n_1^2 \sin^2 \delta + n_2^2 \cos^2 \delta).$$

Da wir statt des letzten Factors in tang S schreiben können:

$$\text{tang } e' \,.\, \sin e',$$

so ist die Übereinstimmung mit Gl. (V) dargethan.

Herr Liebisch hat gegen Schluss seines Aufsatzes die drei von mir oben behandelten Beobachtungsreihen von Danker einer numerischen Prüfung unterzogen. Der Einfluss der Prismenfläche III auf die Neigung S ist dabei unberücksichtigt geblieben.

Im Grossen und Ganzen stimmen die berechneten Werthe (S) des Herrn Liebisch mit den meinigen überein. Da für die Aragonitreihe und die zweite Kalkspathreihe etwas verschiedene Werthe für a, c und $\mu$ von uns verwerthet worden sind, so wird für diese die Vergleichung erschwert. Für die erste Reihe, die zur optischen Axe // Grenzebene des Kalkspaths, sind die benutzten Geschwindigkeiten a, c und v bezw. deren reciproke Werthe $n_2$, $n_1$ und N dieselben.

Hier sind nun die Liebisch'schen Zahlen durchweg um einige Minuten grösser. Der Unterschied, der bis zu 7′ ansteigt, findet eben in der durch das Prisma hervorgerufenen



Digitized by Google

Änderung des Winkels $S_1$ seine Erklärung. Vernachlässige ich bei meinen Rechnungen das Correctionsglied $\frac{\cos \vartheta}{\cos \vartheta'}$, so fallen die so berechneten Zahlen mit den Liebisch'schen vollkommen zusammen.

Die Wirkung der Prismenablenkung auf den Neigungswinkel ist somit eine andere, als Herr Liebisch annimmt[1]. Insbesondere sind die einseitigen Differenzen der Aragonitreihe nicht auf den Einfluss des Prismas zurückzuführen. Sie finden, wie oben ausgeführt wurde, ihre anderweitige, sachgemässe Begründung.

Schliesslich bedarf noch ein kleiner Rechenfehler einer Berichtigung. Herr Liebisch berechnet (p. 65) nach Gleichung:

(63*) $$\text{tang } \delta_m^4 = \frac{c^2(c^2 - v^2)}{a^2(a^2 - v^2)}$$

das Azimuth $\delta_m$ für den Maximalwerth $S_m$. Das ist wohl für die beiden letzten Reihen richtig, wo wir es eben mit in sich geschlossenen Grenzcurven zu thun haben, findet aber auf Kalkspath Tab. VII keine Anwendung, sofern hier die Bedingung $a > v > c$ vorliegt, $c^2 - v^2$ also negativ ist[2]. Es existirt somit kein $\delta_m$, welches der Gleichung (63* l. c. p. 58) vergl. Gleichung (6) p. 175 entspricht. Es steigt vielmehr der Winkel S von 0° zuerst langsam (siehe Fig. 4), zuletzt rapid bis 90°, und erreicht diesen Werth für ein Azimuth, welches sich nach Gleichung (7) p. 180 zu $\delta_g = 11° 46{,}3'$ bestimmt.

Für Azimuthe, welche zwischen 0° und diesem Grenzwinkel liegen, ist eine Grenzlinie überhaupt nicht vorhanden.

Bonn, Anfang August 1886.

---

[1] Vgl. dagegen die Mittheilung des Hrn. B. Hecht (dies. Jahrb. 1887, I, 218—221). D. Red.

[2] Herr Liebisch hat irrthümlich $c^2 - v^2$ als positiv gerechnet und ist so zu den l. c. p. 65 angegebenen Zahlen für $\delta_m$ und $S_m$ gelangt.

Digitized by Google

# Geognostisch-petrographische Skizzen aus Süd-Afrika.

Von

**E. Cohen** in Greifswald.

Mit Tafel VIII. IX.

---

## II. Die Karrooformation nebst einigen Bemerkungen über das palaeozoische Gebiet im südlichen Capland.

Die im folgenden niedergelegten Beobachtungen wurden zum Theil auf der Reise von der Capstadt nach den Diamantfeldern gemacht. Nach der Art dieser Reise — in einem grossen mit 8 Pferden oder 10 Maulthieren bespannten Transportwagen unter möglichster Benutzung der Nachtstunden — war eine irgend continuirliche Untersuchung der Lagerungsverhältnisse innerhalb der fast in ihrer ganzen Ausdehnung von Südwest nach Nordost durchschnittenen Karrooformation natürlich ausgeschlossen. Ich musste mich im wesentlichen auf das Studium der Eruptivgesteine beschränken, welche im Gebiet der mittleren Karrooformation so häufig auftreten, dass fast ein jeder nach je 3 bis 4 Stunden zur Erholung der Zugthiere eintretende „Ausspann" dazu Gelegenheit bot. Ausserdem konnte ich bei sofortigem Aufbruch immerhin die Rastzeit verwerthen, um eine nicht unbedeutende Strecke dem Wagen vorauszueilen.

Ergänzt wurden die auf diese Weise gemachten Beobachtungen auf den Diamantfeldern selbst und auf kleineren, meist zu Pferde unternommenen Ausflügen, ganz besonders



Digitized by Google

aber auf einer Reise von dort aus nach Colesberg in der Cap-Colonie, welche mir Gelegenheit bot, mich an letzterem Orte, sowie in Fauresmith und Philipolis im Oranje Freistaat je einige Tage aufzuhalten. Weitere allerdings sehr flüchtige Vergleiche liessen sich auch in der Colonie Natal während eines achttägigen Rittes von D'Urban bis zum Umgeni-Fall bei Howick anstellen.

Da demnach Eruptivgesteine aus der Karrooformation von vielen und zum Theil weit von einander entfernten Punkten gesammelt werden konnten, so glaube ich sicher, dass alle Haupttypen unter dem mir vorliegenden Material vertreten sind.

Vorausschicken werde ich einige Beobachtungen über das palaeozoische Gebiet im südlichen Capland zwischen Wellington und Karroo Poort. Nachdem ich nämlich bis Wellington die Eisenbahn benutzt hatte, welche damals hier endete, am 28. November 1885 jedoch bis an die Diamantfelder eröffnet worden ist, legte ich die Strecke bis Karroo Poort in einer Privatkarre zurück mit einem zweitägigen Aufenthalt in Ceres. Da ich zu einer anderen Auffassung der Lagerungsverhältnisse gelangte, als meine Vorgänger und Nachfolger, so glaubte ich, die immerhin recht flüchtigen Beobachtungen erwähnen zu sollen, um dadurch vielleicht zu einer sorgfältigeren Durchforschung dieses verhältnissmässig leicht zugänglichen Gebietes anzuregen.

**1. Die palaeozoischen Formationen der südlichen Cap-Colonie.**

Wenn man von Capstadt aus den Weg über Wellington, Ceres und Karroo Poort ins Innere der Cap-Colonie einschlägt, so bleibt man auf einer ungefähr 160 km. breiten Zone im Gebiet der palaeozoischen Formationen, deren Grenze im grossen den Contouren des Continents parallel verläuft.

Nach dem Überschreiten der mit jugendlichen Bildungen bedeckten sog. Cap'schen Fläche trifft man nach den geologischen Karten von Bain, Hochstetter und Anderen bis Wellington die gleichen Schiefer und Granite, welche ich in einer früheren Mittheilung aus der nächsten Umgebung der Capstadt beschrieben habe[1]. Ob auch diese Schiefer im Contact mit dem Granit metamorphosirt sind, wird nirgends

[1] Dies. Jahrb. 1874. 460—505.

Digitized by Google

erwähnt; dagegen gibt HOCHSTETTER an, dass der porphyrartige, grobkörnige Granit der Küste gegen das Innere zu allmählich in Granitporphyr übergehe[1].

Von Wellington an durchschneidet die über Bains Kloof führende, vortrefflich angelegte Hochgebirgsstrasse anfangs noch den Granit, der in so hohem Grade und bis auf solche Tiefe hinab zersetzt ist, dass tiefe Einschnitte mit steilen Wänden, wie im Löss, in denselben eingenagt sind. Wo die Strasse anfängt, in Serpentinen anzusteigen, beginnt der Schiefer, gewöhnlich in eine weisse, gelbe oder rothe lehmartige Masse umgewandelt unter vollständiger Erhaltung der ursprünglichen Schieferstructur. Steile Stellung der Schichten lässt sich daher noch deutlich erkennen, aber nicht eine etwaige Veränderung in der Nähe des Granitcontacts.

In einer Höhe von ca. 400 m. über Wellington wird der Schiefer discordant überlagert von horizontalen Schichten des mannigfach, aber stets licht gefärbten Tafelbergsandstein, der am Ostabhang des Gebirgszugs fast bis ins Thal des Breedeflusses hinabreicht. Im Thal selbst treten hie und da zwischen recenten Sand- und Geröllablagerungen wieder Schichtenköpfe der auch hier stark zersetzten und oft mannigfach gewundenen Schiefer hervor. Sie bilden ferner die Vorhügel des nächsten parallelen Gebirgszuges, welcher das Thal von Worcester vom Thal von Ceres, dem sogenannten Warmen Bokkeveld, trennt, und den die Strasse im Mitchells Pass überschreitet. Auch dieser Gebirgszug besteht in seinen oberen Partien ganz aus Tafelbergsandstein, der etwa bis in die Mitte des Passes horizontal liegt, dann aber plötzlich stark gegen das Thal von Ceres einfällt. Diese Erscheinung hat, wie wir im folgenden sehen werden, zu einer sehr verschiedenen Deutung der Lagerungs- und Altersverhältnisse innerhalb der ganzen palaeozoischen Schichtenreihe Anlass gegeben.

Die Hauptmasse des sogen. Tafelbergsandstein ist ein typischer Quarzsandstein mit etwas schwankendem, aber stets sehr geringem Gehalt an Bindemittel. Weitaus die meisten Quarzkörner sind von annähernd gleicher Grösse und trotz

[1] Beiträge zur Geologie des Caplandes. Sep.-Abdr. 7.

Digitized by Google

mannigfaltiger Gestaltung fast ausnahmslos gerundet; eigentliche Splitter dürften kaum vorhanden sein. Undulöse Auslöschung wurde öfters beobachtet, sowie auch gelegentlich eine polysynthetische Zusammensetzung einzelner Körner. Beide Eigenschaften wird der Quarz wohl schon auf primärer Lagerstätte besessen haben; denn in dem ganz oder nahezu horizontal liegenden Sandstein hat schwerlich ein genügender Druck auf ihn einwirken können. Aus dem mehr oder minder häufigen Vorkommen solcher mechanisch deformirten Quarze in Sandsteinen liessen sich vielleicht Schlüsse auf einen kürzeren oder weiteren Transport ziehen, da stark polysynthetische Körner weniger widerstandsfähig sein dürften, als einheitliche.

Im allgemeinen ist der Quarz sehr reich an Flüssigkeitseinschlüssen, welche sich zum Theil bis zur Graufärbung des Wirths dicht an einander drängen, zum Theil in der für Granite und Gneisse charakteristischen Weise zu Bändern und Schnüren anordnen. Viele enthalten bewegliche Libellen, auch bei verhältnissmässig grossen Dimensionen, was nicht häufig der Fall zu sein pflegt. Einzelne Körner sind dicht erfüllt mit Trichiten, und Zirkonmikrolithe erscheinen keineswegs selten als Gäste. Ausserdem kommen Biotitmikrolithe vor, und einmal wurde Granat beobachtet. Die Einschlüsse weisen also im allgemeinen auf eine Abstammung des Quarz von granitischem oder gneissartigem Material.

Die Körner sind meist dicht auf einander gepackt mit gelegentlicher Zwischenschaltung eines feinen Häutchens von Eisenhydroxyd; dabei scheint secundärer Quarz öfters ursprüngliche Lücken ausgefüllt zu haben, der genau die gleiche krystallographische Orientirung zeigt, wie ein benachbartes Korn und frei von Flüssigkeitseinschlüssen ist. Zuweilen markirt eine Reihe winziger Körnchen die Grenze zwischen Kern und muthmasslichem späteren Ansatz. Wo sich ein eigentliches Bindemittel einstellt, besteht es entweder aus einem Aggregat kleiner Quarzkörner oder aus einem glimmerartigen Material, welches den aus Feldspath entstandenen pinitoidartigen Substanzen gleicht.

In geringer Menge betheiligen sich an der Zusammensetzung des normalen Sandsteins trübe Körner mit Aggregat-

Digitized by Google

polarisation, welche wohl als zersetzter Feldspath zu deuten sind, Zirkon und grössere Quarzgerölle. Letztere zeigen besonders häufig undulöse Auslöschung. Nur in untergeordneten Lagen stellen sich reichlicher Kaolinpartikel ein, so dass der Sandstein arkoseartig wird, und ganz selten trifft man schieferthonartige Schmitzen.

Über local, besonders an der Basis auftretende Schichten, welche eine von der Hauptmasse des Tafelbergsandstein abweichende Ausbildung zeigen, habe ich schon früher einige Mittheilungen gemacht (l. c. 503).

Sehen wir von den jugendlichen Bohnerzbildungen, Sanden und Geröllablagerungen ab, welche die Oberfläche meist bedecken, so besteht der Untergrund der breiten Thalfläche des Warmen Bokkevelds vorherrschend aus typischen Grauwacken, welche sich sowohl von den bisher erwähnten Schiefern, als auch vom Tafelbergsandstein petrographisch auf das schärfste unterscheiden und nicht wie erstere steil gestellt, sondern überall, wo ich sie zu beobachten Gelegenheit hatte, ganz oder nahezu horizontal gelagert sind. Ich konnte dieselben mit genau gleichem Charakter einerseits in nördlicher Richtung bis zum Gydow verfolgen, welcher die Grenze des Warmen Bokkevelds gegen das höher gelegene Kalte Bokkeveld markirt, andererseits in östlicher Richtung bis Karroo Poort. Sie sind an mehreren Punkten reich an Petrefacten, welche nach Sandberger [1], Sharpe und Salter [2] das devonische Alter dieser Schichten feststellen. An den von mir besuchten Fundstätten herrschten Brachiopoden weitaus vor.

Da die festeren Grauwackensandsteine als Baumaterial verwerthet werden, so trifft man gelegentlich Aufschlüsse in kleinen Steinbrüchen. Hier kann man wahrnehmen, dass die Grauwacken zwar das vorherrschende Gestein bilden, dass ihnen aber vielfach Schiefer und Sandsteine von wechselnder Ausbildung eingeschaltet sind. So fand ich in einem Steinbruch am Schlangengat, ½ Stunde NO. von Ceres, von unten nach oben: dünnschiefrige, schwarze, glimmerreiche, sandige Schiefer — aschgraue, in dünne Platten sich absondernde,

[1] Dies. Jahrb. 1852. 581–585.

[2] Description of palaeozoic fossils from South Africa. Transactions of the Geol. Soc. of London (2). VII. 203—224.

Digitized by Google

glimmerreiche, thonige Sandsteine — normale Grauwacke in mächtigen Quadern, genau derjenigen gleich, welche am Fuss des Gydow vorherrscht und reich an devonischen Petrefacten ist — Geröllablagerungen — Bohnerze. An anderen Punkten, z. B. bei Kafferkraal, 1½ Stunden NO. von Ceres, sieht man die untergeordneten Lagen von thonschieferartigen Gesteinen und Sandsteinschiefern auskeilen und öfters zu den Dimensionen von Schmitzen herabsinken. In einem etwas höheren Niveau in der Nähe des Tronsberges tritt ein fester arkoseartiger Sandstein als Einlagerung auf, und die Grauwacken zeigen ein feineres Korn und festeres Gefüge.

Für die normalen Grauwacken[1] ist es charakteristisch, dass der Quarz nie eigentlich gerundet erscheint, dagegen sehr häufig in den schärfsten keilförmigen Splittern auftritt und nicht selten undulöse Auslöschung zeigt. Ferner ist er arm an Flüssigkeitsporen; in vielen Körnern fehlen sie ganz, und wo sie auftreten — in der Regel lebhaft bewegliche Libellen enthaltend — sind sie nie zu Schnüren und Bändern wie in Graniten und Gneissen angehäuft. Auch andere für die Quarze dieser Gesteine charakteristische Einschlüsse, wie Trichite, Apatite, Zirkone fehlen so gut wie gänzlich. Einerseits scheint der Quarz der Grauwacken also nicht granitischen oder gneissartigen Gesteinen zu entstammen, andererseits scheint derselbe nicht weit transportirt zu sein; denn das Korn ist nicht fein genug, um die Annahme zu gestatten, das gesammte Material habe sich lange im Wasser suspendirt erhalten. Feinschuppige Aggregate glimmerartiger Mineralien bilden nebst etwas Eisenhydroxyd den grössten Theil des Bindemittels, dem vereinzelte grössere Glimmerblättchen, Erzkörner, Hornblendesäulen, Feldspathkörner und verhältnissmässig reichliche Zirkonmikrolithe beigemengt sind.

Während die Grauwacken im allgemeinen von sehr gleichförmigem Habitus sind, treten im obersten Niveau, auf der Höhe von Hottentotts Kloof, Schichten von durchaus eigen-

[1] Wenn auch Grauwacken und Sandsteine sich nicht scharf scheiden lassen, so scheint mir doch ersterer Name auch in petrographischem Sinne zweckmässig, um sandsteinartige Bildungen zu bezeichnen, welche durch einen reichlichen Gehalt an glimmerartigen Mineralien und Feldspathen, resp. deren Zersetzungsproducten charakterisirt sind.

Digitized by Google

thümlicher Ausbildung auf. Es sind bläulichschwarze, dichte, feste Gesteine mit muschligem Bruch und sehr versteckter Schieferung, so dass man sie ohne nähere Untersuchung leicht für massige Felsarten — etwa für Melaphyre — halten kann. Trotzdem erweisen sie sich bei der mikroskopischen Untersuchung ebenfalls als Grauwacken, in denen das glimmerartige Bindemittel weitaus vorherrscht, während Quarz — hier ebenfalls in scharfeckigen Splittern — stark zurücktritt. Auch stellen sich reichlicher Eisenhydroxyde und grosse Leisten eines dunklen Glimmer mit starker Absorption ein. Durch weniger dichte und dann quarzreichere Varietäten wird ein Übergang zu den normalen Grauwacken vermittelt.

Zwischen Hottentotts Kloof und Karroo Poort, an den Ausläufern der Zwarteberge und Witteberge, bestehen die Gipfel wieder aus Sandsteinen, welche petrographisch dem Tafelbergsandstein durchaus gleichen. Sie liegen im allgemeinen horizontal, fallen aber bei Karroo Poort steil gegen den Engpass ein, wie es scheint, in Folge rein localer Störung. —

Alle Autoren, welche sich mit der Geologie der südlichen Cap-Colonie beschäftigt haben, stimmen darin überein, dass die steil gestellten Schiefer zwischen Capstadt und Mitchells Pass älter sind, als der Tafelbergsandstein, und dass der Granit die Schiefer durchbrochen hat, wie dies unzweifelhaft aus den Contactverhältnissen und aus den zahlreichen Apophysen hervorgeht[1]. Nur Moulle, von dem die Contactzone gar nicht erwähnt wird, scheint den Granit für älter als die Schiefer zu halten, wenn ich seine Bemerkungen richtig verstanden habe[2]. Sehr getheilt sind jedoch die Ansichten über die Lagerungsverhältnisse derjenigen Schiefer, Grauwacken und Sandsteine, welche zwischen Mitchells Pass und Karroo Poort auftreten, und über ihre Beziehungen zu den eben genannten Formationen.

A. G. Bain, dem wir die erste geologische Karte der Cap-Colonie verdanken[3], nahm an, dass der am Nord-Abhang

[1] Vergl. dies. Jahrb. 1874. 460 ff.

[2] Mémoire sur la géologie générale et sur les mines de diamants de l'Afrique du Sud. Annales des Mines 1885 (8). VII. 202. Sep.-Abdr. 10.

[3] On the geology of Southern Africa. Transactions of the Geol. Soc. of London (2). VII. 175—192. Taf. XX u. XXI.

Digitized by Google

des Mitchells Pass steil abfallende Tafelbergsandstein unter die devonischen Grauwacken des Bokkevelds einschiesse, ersterer also älter als letztere sei. Da die Sandsteine der Zwarteberge und Witteberge unzweifelhaft den Grauwacken auflagern, so musste er sie trotz der auch von ihm hervorgehobenen vollständigen petrographischen Übereinstimmung vom Tafelbergsandstein trennen und betrachtete sie als eine den obersten Grauwackeschichten ein- oder aufgelagerte Abtheilung des Devon. Er gelangte also für die südliche Cap-Colonie zu zwei Schiefer- und zwei Sandsteinformationen in folgender Reihenfolge:

| | | |
|---|---|---|
| Schiefer der Küstenregion (Malmesbury beds) | | Vordevon |
| Tafelbergsandstein (Tafelberg bei Capstadt, Bains Kloof, Mitchells Pass) | | Unterdevon |
| Grauwacken des Bokkevelds (Bokkeveld beds) | unteres | Oberdevon |
| Sandstein der Zwarteberge und Witteberge | oberes | |

Um diese Altersverhältnisse zu ermöglichen, musste Bain für die devonischen Grauwacken des Bokkevelds theils steil gestellte, theils gewundene Schichten, für die jüngeren Sandsteine eine mit jenen conforme Lagerung annehmen, wie dies aus dem Profil 1 auf Tafel VIII ersichtlich ist, welches nach Bain aus der oben citirten Arbeit copirt wurde. Es entspricht dasselbe allerdings nicht genau der von mir zurückgelegten Route, auf welcher ich, wie schon oben angegeben wurde, an allen besuchten Aufschlüssen horizontale oder fast horizontale Lagerung innerhalb des hier in Betracht kommenden Schichtencomplexes beobachtet habe.

Bain's Nachfolger Andrew Wyley nahm die gleichen Lagerungsverhältnisse an mit der nicht wesentlichen Abweichung, dass er die Sandsteine der Zwarteberge und Witteberge, sowie einen Theil der oberen Grauwacken vom Oberdevon abtrennte und als Carbon ausschied[1]. Für die Schichten, welche unter den Sandsteinen in der Gegend von Karroo Poort liegen, erscheint mir dies aber nicht zulässig, da dieselben schwerlich einem höheren Niveau angehören, als die Grau-

[1] Notes of a journey in two directions across the colony, made in the years 1857—58, with a view to determine the character and order of the various geological formations. Being the appendix to a report presented to both houses of Parliament in June, 1859, by command of his Excellency the Governor. Capetown 1859.

Digitized by Google

wacken auf Hottentotts Kloof, in denen nach Sharpe und Salter, sowie nach Wyley die gleichen Versteinerungen vorkommen, wie in den typischen devonischen „Bokkeveld beds" bei Ceres und am Gydow. Die von Wyley aufgenommene geologische Karte ist, soweit ich weiss, nicht publicirt, sondern nur als Manuscript in den Archiven der Cap-Colonie niedergelegt worden.

Der Wyley'schen Auffassung ist dann E. J. Dunn bei Zusammenstellung seiner im Jahre 1874 veröffentlichten geologischen Karte von Süd-Afrika gefolgt[1], welche ohne erläuternde Begleitworte publicirt ist. Ein Profil gibt Dunn nicht, wohl aber Moulle (l. c. Tafel VI), der dasselbe für die südliche Cap-Colonie augenscheinlich unter zu Grundelegung von Dunn's Karte gezeichnet hat. Für die Grauwacken und östlichen Sandsteine construirt Moulle eine noch stärkere Faltung als Bain. Das nach jenem copirte Profil 2 auf Tafel VIII mag eine Anschauung der von Wyley, Dunn und Moulle angenommenen Altersverhältnisse geben.

Gegen die Bain'sche Auffassung, welche hier allein in Betracht zu ziehen ist, da die übrigen genannten Autoren im wesentlichen die gleichen Lagerungsverhältnisse annehmen, wurden zuerst von R. N. Rubidge Bedenken erhoben[2], denen sich Hochstetter später anschloss (l. c. 15), letzterer allerdings auf Grund von Beobachtungen an anderen Punkten der südlichen Cap-Colonie, da er die Gegend von Ceres nicht besucht hat. Rubidge nahm an, dass die steil gegen Ceres einfallenden Sandsteine nicht zum Tafelbergsandstein gehören, sondern silificirte Grauwacken, also dem petrefactenführenden Devon angehörige Schichten sind und erläuterte seine Ansicht durch das auf Tafel VIII copirte Profil 3. Er gelangte dadurch zu einer Schieferformation und zu einer Sandsteinformation. Auf diese Weise lassen sich allerdings die südlichen und nördlichen Sandsteine, welche petrographisch nicht von einander zu unterscheiden sind, identificiren, aber andererseits stehen doch der Auffassung von Rubidge und Hochstetter für die

[1] Geological Sketch Map of South Africa, compiled by E. J. Dunn. London: Edward Stanford. (Ohne Datum.)

[2] On some points in the geology of South Africa. Quart. Journal of the geol. Soc. 1858. 195—198.

Digitized by Google

Gegend von Ceres schwere Bedenken entgegen. Die petrefactenleeren, dünnschiefrigen echten Thonschiefer der Capstadt sind durchaus verschieden von den petrefactenführenden Grauwacken des Bokkevelds, und durch eine Silificirung letzterer kann meiner Ansicht nach niemals der doch immerhin ziemlich grobkörnige, an Bindemittel arme Quarzsandstein entstehen, welcher die fraglichen Schichten am Mitchells Pass bildet. Auf die von mir beobachtete horizontale Lagerung der Grauwacken darf ich kein besonderes Gewicht legen. Da alle übrigen Beobachter mehr oder minder steil gestellte Schichten in ihre Profile eingetragen haben oder solche erwähnen, und ich nur einen verhältnissmässig kleinen Theil der Bokkeveld beds zu sehen Gelegenheit hatte, so muss ich annehmen, dass an anderen Punkten wesentlich abweichende Lagerungsverhältnisse vorkommen, und dass es sich zwischen Ceres und Hottentotts Kloof um locale Verhältnisse handelt[1]. Das von Rubidge gerade für diese Gegend gezeichnete Profil widerspricht aber den thatsächlichen Verhältnissen, und die Darstellung des Tafelbergsandstein durch Moulle ist zweifellos ein Phantasiegebilde.

Nach meinen Beobachtungen erscheint es mir am naturgemässesten, bei Ceres eine Verwerfung derart anzunehmen, dass die im Thal des Warmen Bokkevelds auftretenden Devonschichten gesunken sind, und dass von dem stehen gebliebenen Tafelbergsandstein der zunächst an die Verwerfungsspalte stossende Theil sich gegen letztere hin senkte. Die den Tronsberg und Hottentotts Kloof aufbauenden Grauwacken und Sandsteine scheinen sich in normaler Lage zu befinden, so dass eine zweite, der ersteren annähernd parallel verlaufende Spalte das Warme Bokkeveld im Osten begrenzen muss. Doch habe ich dies letztere Gebiet zu schnell durchreist, als dass ich directe für diese Annahme sprechende Beobachtungen hätte machen können. Jedenfalls handelt es sich nur um eine locale Erscheinung, welche sich wahrscheinlich auf das Gebiet des Warmen Bokkevelds beschränkt oder nur wenig weiter erstreckt; denn im grossen und ganzen hat im südlichen und

[1] Trotz alledem dürfte die Faltung und Steilstellung der petrefactenführenden Grauwacken des Bokkevelds in den Profilen von Allen zu Gunsten der angenommenen Lagerungsverhältnisse stark übertrieben worden sein.

Digitized by Google

östlichen Süd-Afrika ein Absinken gegen die Küste hin stattgefunden. Ein solches wurde von C. L. Griesbach für Natal nachgewiesen[1], von mir für die Breite von Delagoa Bai wahrscheinlich gemacht[2], und zwischen Karroo Poort und Capstadt trifft man gegen Süden fortschreitend den Tafelbergsandstein in immer tieferen Niveau. Dass zwischen Natal und dem grossen Fischfluss eine bedeutende Scholle abgesunken sein muss, hat noch neuerdings Suess besonders hervorgehoben[3].

Liegt eine derartige Verwerfung bei Ceres vor, so kann man ohne jegliche Schwierigkeit mit Rubidge und Hochstetter für die Sandsteine ein gleiches Alter annehmen, was mit der von allen Beobachtern hervorgehobenen petrographischen Identität gut übereinstimmt. Der Tafelbergsandstein ist dann aber unzweifelhaft postdevonischen, also wahrscheinlich carbonischen Alters und würde theils den vordevonischen (silurischen oder azoischen) Thonschiefern (Malmesbury beds), theils den devonischen Bokkeveld beds direct auflagern, sei es nun, dass das Devon weiter südlich und westlich überhaupt nicht zur Ablagerung gelangte, sei es, dass dasselbe vor Ablagerung des Tafelbergsandsteins denudirt worden ist.

Obige Auffassung wurde dem Profil 4 auf Tafel VIII zu Grunde gelegt. Aus derselben würde ferner hervorgehen, dass nach Ablagerung des Tafelbergsandstein sehr wesentliche Niveauveränderungen stattfanden, und dass zwischen letzterem und den nächstfolgenden Formationen eine bedeutende Discordanz vorliegt.

### 2. Die Karrooformation.

#### a. Untere Abtheilung.

Als ältestes Glied der Karrooformation wird allgemein ein Schichtencomplex angesehen, für den das Auftreten von grossen Blöcken charakteristisch ist. Fast jeder südafrikanische Geologe hat eine andere Ansicht über die Natur und Entstehung dieser Ablagerungen aufgestellt oder wenigstens einen anderen Namen gewählt.

---

[1] On the geology of Natal, in South Africa. Quart. Journ. of the geol. Soc. of London. 1871. XXVII. 53 ff.

[2] Erläut. Bemerk. z. d. Routenkarte einer Reise v. Lydenburg nach d. Goldfeldern u. s. w. 2. Jahresber. d. geogr. Ges. in Hamburg. 1875. 235.

[3] Das Antlitz der Erde I. 501.

Digitized by Google

Bain, welcher diese Schichten zuerst beschrieben hat, bezeichnete die Gesteine als „claystone porphyry“ und sah in denselben das Product eines grossen, in das Innere von Südafrika — etwa in die Gegend der Vereinigung von Oranje- und Vaalfluss oder des Compassberges — zu verlegenden Vulcans (l. c. 185 ff.). Moulle scheint ähnlicher Ansicht zu sein, indem er Beziehungen zu älteren Melaphyreruptionen[1] annimmt und den Namen „brèche mélaphyrique“ wählt, also das Bindemittel der Blöcke wohl für Melaphyr hält (l. c. Sep.-Abdr. 31 u. 44). Während Bain sicher, wahrscheinlich auch Moulle an einen Erguss lavaartiger Massen denkt, erklärte sich Wyley für aschenartige Eruptionsproducte, welche zu einem dichten Feldspath erhärteten und mit den eingehüllten Blöcken sein „Trapconglomerat“ bilden (l. c. 7).

Wesentlich abweichende Ansichten über die Art der Entstehung haben P. C. Sutherland und Griesbach geäussert. Ersterer hält einen glacialen Ursprung für wahrscheinlich[2]; letzterer charakterisirt sein „Boulder-bed“ als rundliche, oft auch eckige Blöcke, eingebettet in einer weichen, sandstein- oder schieferthonartigen Masse (l. c. 58). Nach Beiden wäre also vulcanische Thätigkeit bei der Bildung ausgeschlossen.

Am zweckmässigsten dürfte wohl die von Dunn auf seiner geologischen Karte gewählte Bezeichnung „Dwyka-Conglomerat“ sein, weil sie keine bestimmte Hypothese über die Art der Entstehung involvirt und einem Schichtencomplex von bestimmter geologischer Stellung angemessener ist, als Namen wie Boulder-bed (Griesbach) oder Boulder-clay (Sutherland), die eigentlich nur eine petrographische Charakteristik enthalten.

Meine Beobachtungen im Gebiet des Dwyka-Conglomerat waren nur flüchtige; doch konnte ich sowohl bei Platfontein zwischen Karroo Poort und Pataties River in der Cap-Colonie, als auch in der Gegend von Pietermaritzburg, Thornville und Pinetown in Natal einiges Material sammeln.

---

[1] Ältere Melaphyre im Vergleich mit den später zu beschreibenden Diabasen, welche er z. Th. als jüngere Melaphyre bezeichnet.

[2] Notes on an ancient boulder-clay of Natal. Quart. Journal of the geol. Soc. 1870. XXVI. 514; On the geology of Natal. Read before the Natural History Association of Natal. 27th June 1868. p. 17.

Digitized by Google

Unter den grösseren eckigen oder mehr oder minder gerundeten Bruchstücken und Geschieben, welche Kopfgrösse und mehr erreichen, nahm ich Hornstein, Quarzit, Schiefer, Gneiss und ganz besonders reichlich verschiedene Varietäten von Granit wahr; Griesbach führt auch Grünstein, Bain Sandstein an. Eigentliche Gerölle scheinen zu fehlen. Diese Blöcke liegen in einem feinkörnigen bis dichten, meist grau oder grünlichgrau gefärbten hornstein- oder grauwackeartig aussehenden Bindemittel mit zahlreichen kleinen eckigen Fragmenten. Bald herrschen jene vor, bald letzteres, welches massig oder undeutlich schiefrig erscheint. Wenn thonige oder mürbe Massen beschrieben werden, welche die Blöcke einschliessen, so dürften Zersetzungsproducte vorliegen.

Unter dem Mikroskop erweist sich das Bindemittel als unzweifelhaft klastischer Natur. Zunächst treten zu den schon makroskopisch erkennbaren Fragmenten zahlreiche von mikroskopischen Dimensionen hinzu mit eckiger, oft geradezu splittriger Begrenzung. Es sind zum Theil Trümmer von Gesteinen, welche sich als Quarzite, Hornsteine, Granite, Gneisse, zersetzte Diabase oder Diabasporphyrite, Chloritaggregate mit Einschlüssen von Calcit oder Magnetit meist mit genügender Sicherheit bestimmen lassen; hinzukommen verschiedenartige, wahrscheinlich krystallinen Schiefern angehörige Gemenge. Oft sind es auch Bruchstücke einzelner Mineralien, unter denen Quarz und Orthoklas weitaus vorherrschen, Mikroklin und Plagioklas an Menge zunächst kommen, während Magnesiaglimmer, Kaliglimmer, Augit, Epidot, Hornblende, Granat, Erzkörner und Zirkon spärlicher vertreten sind. Bemerkenswerth ist die ausserordentliche Verschiedenheit der einzelnen Quarzbrocken bezüglich ihrer Einschlüsse. Viele sind von idealer Reinheit, manche sehr reich an Trichiten oder an Flüssigkeitsporen, wiederum andere enthalten nur wenige der letzteren, aber sehr grosse mit lebhaft beweglichen Libellen; einzelne Quarze sind auch stark polysynthetisch. Ein grosser Theil des Materials stammt augenscheinlich von Graniten und Gneissen ab, wofür auch die häufige Verwachsung von Quarz und Feldspath spricht; doch sind reichlich Fragmente anderer Gesteine beigemengt. Alle diese gröberen Bestandtheile werden durch ein Cement fest verbunden, welches sich der Hauptmasse

Digitized by Google

nach isotrop verhält und zum grössten Theil aus amorpher Kieselsäure besteht, da sich durch Digeriren des Gesteinspulvers mit Kalilauge 16.9 Proc. Kieselsäure ausziehen liessen. Beigemengt sind abgesehen von winzigen Quarzsplittern wohl vorherrschend glimmerartige Substanzen.

Die untersuchten Vorkommnisse aus der Cap-Colonie und aus Natal erwiesen sich in allen wesentlichen Punkten als übereinstimmend, und zwar geht aus der mikroskopischen Untersuchung hervor, dass überall rein klastisches Material alter Gesteine vorliegt, welches durch amorphe Kieselsäure verkittet wird, nicht ein Product vulcanischer Thätigkeit, sei es als lavaartiger Erguss, sei es als Ascheneruption.

Auf das Dwyka-Conglomerat folgt ein Schichtencomplex, für welchen schwarze Schiefer besonders charakteristisch sind. In der Cap-Colonie hat er von Bain den Namen Ecca-beds erhalten[1], während Griesbach für Natal die Bezeichnung Pietermaritzburger Schiefer wählte nach dem Orte, in dessen Umgebung die Entwickelung eine besonders typische ist.

Vom Gielbecksfluss in der Karroo liegen nur harte und feste, in dünne Platten sich absondernde schwarze Schiefer vor von feinem und recht gleichmässigem Korn. Sie bestehen vorherrschend aus Quarzsplittern, einem farblosen glimmerartigen Mineral, feinkörnigen Calcitaggregaten, etwas amorphem Bindemittel und aus einer die schwarze Farbe bedingenden organischen Substanz, welche nicht gleichmässig vertheilt ist, sondern sich streifen- und fleckenweise anreichert. Nach dem schnellen und leichten Verschwinden bei mässigem Glühen dürfte dieselbe eher bituminöser als kohliger Natur sein. Im geglühten und mit Salzsäure behandelten Dünnschliff treten — wenn auch nicht allzu reichlich, so doch in recht gleichmässiger Vertheilung — feine Stäbchen deutlich hervor, welche sich mit den Rutilnädelchen identificiren lassen, da auch die für den Rutil so charakteristischen herz- und knieförmigen Zwillinge vereinzelt beobachtet wurden. In geringer Menge betheiligen sich an der Zusammensetzung grössere Quarz- und Feldspathsplitter, sowie Blättchen eines dunklen

[1] Zuweilen findet man auch die Bezeichnung Ecca-beds für die ganze untere Abtheilung, also für die Conglomerate und Schiefer zusammen angewendet.

Digitized by Google

Glimmer, ferner Erzkörnchen und ganz spärlich turmalinähnliche Säulchen.

Während diese Schiefer petrographisch etwa an der Grenze der Thonschiefer und Schieferthone stehen, gehören die Pietermaritzburger Schiefer, welche Griesbach als Aequivalente der Ecca-beds in der Karroo ansieht[1], entschieden zu letzteren. Sie zerfallen ausserordentlich leicht in dünne Scherben, sind gröber struirt, reicher an grösseren Glimmerblättchen, welche besonders auf den Absonderungsflächen deutlich hervortreten, und erheblich reicher an Bitumen. Letzteres ist wohl die Ursache, dass Splitter in der Flamme mit knackendem Geräusch heftig zerspringen.

Grauwackeartige Sandsteine von grauer oder gelber Farbe mit undeutlichen Pflanzenresten, sowie Sandsteinschiefer bilden ziemlich häufige Einlagerungen in den Ecca-beds der Karroo, welche in der Regel wenig mächtig sind, local auch wohl stärker anschwellen.

Dwyka-Conglomerat und Ecca-beds (resp. Pietermaritzburger Schiefer) werden von den meisten als untere Karrooformation zusammengefasst, und nach Griesbach und Sutherland sollen auch die Conglomerate und Breccien allmählich in die Schiefer übergehen. Nur Wyley und Dunn weisen ersteren eine selbständige Stellung zu. Dunn zeichnet das Dwyka-Conglomerat auf seiner Übersichtskarte mit besonderer Farbe aus und vereinigt es auch in der Farbenerklärung nicht mit der Karrooformation. Sollte man in dem Dwyka-Conglomerat ein Aequivalent unseres Rothliegenden sehen können? Nimmt man für den Tafelbergsandstein carbonisches, für die Karrooformation triadisches Alter an, so legt die geologische Stellung die Frage jedenfalls nahe.

Lager von Eruptivgesteinen, welche für die mittlere Karrooformation in hohem Grade charakteristisch sind, scheinen in der unteren Abtheilung sehr selten aufzutreten. In der Cap-Colonie habe ich überhaupt keine beobachtet; im Park von Pietermaritzburg in Natal fand ich dagegen den schwarzen Schiefern einen typichen mittelkörnigen Olivindiabas eingelagert. Da er sich in keiner Beziehung von manchen

[1] Dunn vereinigt auf seiner Karte die Pietermaritzburger Schiefer mit der oberen Karrooformation (Stormberg Beds).



Digitized by Google

Einlagerungen in der nächst folgenden Abtheilung der Karrooformation unterscheidet, so genügt es, auf deren Beschreibung zu verweisen.

### b. Mittlere Abtheilung.

Von den drei Abtheilungen der Karrooformation[1] nimmt die mittlere bei weitem den grössten Flächenraum ein. Während die untere Abtheilung nur als ein verhältnissmässig schmaler Saum zu Tage tritt, beginnt jene etwa unter dem 33. Grad S. Br. und erstreckt sich in nördlicher Richtung im grossen und ganzen bis an den mehr als 500 km. entfernten Vaalfluss. Wenn sie auch an einigen Punkten etwas über den Fluss hinübergreift, so ist dies doch keineswegs in dem Maasse und so allgemein der Fall, wie es Dunn und Moulle auf ihren geologischen Karten und Profilen angeben. Nur längs des Hartrivers, der dort in den Vaal mündet, wo letzterer seinen Lauf mit scharfem Knick nach Süden wendet, scheint sich nach den Beobachtungen von Stow eine schmale Zone weit nach Norden vorzuschieben[2]. Von den Diamantfeldern liegen daher nur die „Dry Diggings" ganz im Gebiet der mittleren Abtheilung, und zwar sehr nahe der nördlichen Grenze, die „River Diggings" im allgemeinen schon ausserhalb, nicht, wie es nach der Darstellung von Dunn der Fall zu sein scheint, noch innerhalb derselben. Die grosse Ausdehnung, welche Dunn und Moulle der mittleren Karrooformation nach Norden geben, erklärt sich wohl dadurch, dass ersterer zum Theil, letzterer durchweg die am Vaalfluss und nördlich von demselben ausserordentlich verbreiteten Mandelsteine und Quarzporphyre mit der Karrooformation vereinigen, während ich sie für ein erheblich älteres Gebirge halte[3].

In der Richtung von Osten nach Westen ist die Ausdehnung der mittleren Karrooformation im Süden am grössten,

---

[1] Wenn man die sogen. Stormberg Beds, wie es auch von Anderen geschieht, als obere Abtheilung zur Karrooformation rechnet.

[2] Geological notes upon Griqualand West. Quart. Journ. Geol. Soc. XXX. 1874. 581—680.

[3] Ich habe dieselben früher (vergl. dies. Jahrb. 1873. 52) mit der vorläufigen Bezeichnung „Vaalgesteine" zusammengefasst. Es dürften z. Th. massige Gesteine, z. Th. metamorphosirte Sedimente oder krystalline Schiefer sein.

Digitized by Google

unter 31° S. Br. mehr als 900 km. betragend; jenseits des Oranje wird die Breite nahezu auf ein Drittel reducirt, indem von Osten die obere Abtheilung der Karrooformation, von Westen älteres Gebirge sich stark vorschieben.

Die mittlere Abtheilung bedeckt demgemäss das ganze Innere der Cap-Colonie, die westliche Hälfte des Oranje-Freistaats und denjenigen Theil von Griqualand West, welcher durch Oranje- und Vaalfluss abgegrenzt wird. Wie weit die Aequivalente der Karrooformation in Natal zur oberen und zur mittleren Abtheilung gehören, lässt sich einstweilen noch nicht übersehen. Wahrscheinlich werden beide vertreten sein.

Da die Schichten horizontal liegen, die Oberfläche oft auf weite Erstreckung eben ist, so bleibt man selbstverständlich häufig längere Zeit hindurch auf einer Schicht oder wenigstens in einem sehr beschränkten Schichtencomplex. Dadurch wird zunächst eine scheinbare Einförmigkeit bedingt. Dieselbe ist aber auch in Wirklichkeit eine charakteristische Eigenthümlichkeit der ganzen Abtheilung. Abgesehen von zahlreichen eingeschalteten Diabaslagern, baut sich dieselbe zwar aus Schiefern und Sandsteinen von recht mannigfachem Habitus auf, aber innerhalb der zum mindesten mehrere Tausend Fuss mächtigen Formation sind es sehr ähnliche Gesteine, die in stetem Wechsel mit einander auftreten. Bei einer flüchtigen Orientirung, wie sie allein die Art der Reise gestattete, liessen sich in keinem Niveau hinreichend scharfe Unterschiede fixiren, um auf Grund petrographischer Merkmale einzelne Horizonte sicher auszuscheiden. Im allgemeinen stellen sich im oberen Niveau — z. B. zwischen Beaufort West und Hanover und in der Gegend von Colesberg — Sandsteine häufiger und in mächtigerer Entwickelung ein, als im tieferen, nördlich vom Oranje. Da die Sandsteine widerstandsfähiger gegen den Einfluss der Atmosphärilien sind, als die Schiefer, so ist dem entsprechend auch die Oberflächengestaltung in den höher gelegenen Theilen der Cap-Colonie — besonders im Nieuweveld und Winterveld — eine mannigfaltigere, als im Oranje-Freistaat und in Griqualand West, wo die mittlere Karrooformation ein ebenes Hochplateau von geringerer absoluter Höhe bildet, welches nur wenige isolirte Berge oder unbedeutende Bergrücken als treffliche Landmarken überragen.



Digitized by Google

Fast noch wichtiger als die Sandsteine, sind die zahlreichen den Schichten eingeschalteten Diabaslager für die Reliefformen der hier in Betracht kommenden Gebiete. Freilich bedingen jene vorzugsweise das Auftreten ausgedehnterer Gebirgszüge oder umfangreicherer Bergmassen. Aber die für das Hochplateau in so hohem Grade charakteristischen isolirten Tafelberge, Spitzkopjes und Pramberge verdanken fast ausschliesslich Diabaslagern ihre Entstehung und ihre Form. Die vorherrschenden Schiefer und mürben Sandsteine fallen der Erosion ausserordentlich schnell zum Opfer, bis ein Diabaslager erreicht ist, welches den Rest vor weiterer Zerstörung schützt. So entstehen zunächst Tafelberge, deren Grösse und Höhe allein abhängig sind von der Ausdehnung des Lagers und von dem Niveau, in welchem dasselbe auftritt. In Folge der fast constant vorhandenen Neigung zu kuglig-schaliger, oft auch gleichzeitig zu säulenförmiger Absonderung lösen sich von dem Rande der Diabasplatte allmählich Theile ab, die Abhänge mit wahren Felsenmeeren bedeckend und die Beobachtung der unter dem Diabas anstehenden Schichten in hohem Grade erschwerend, ja in vielen Fällen unmöglich machend. Die anfangs steilen Gehänge erhalten durch die Trümmer und durch die fortschreitende Erosion eine sanftere Böschung, die Tafel wird immer kleiner, bis schliesslich ein Spitzberg resultirt, von einem geringfügigen Rest der Diabasplatte, ja oft nur von wenigen losen Blöcken gekrönt. Tritt die Verminderung des schützenden Lagers nicht von Anfang an allseitig ziemlich gleichmässig ein, sondern erhält der ursprüngliche Tafelberg zunächst in der Mitte eine Einsattlung, wird also gleichsam in zwei kleinere Tafelberge getheilt, an deren jedem sich die eben geschilderten Vorgänge wiederholen, so resultiren zwei an ihrer Sohle mit einander verbundene Spitzberge, welche wegen ihrer Ähnlichkeit mit der weiblichen Brust von den Holländern „Pramberge“, von den Engländern „Paps“ genannt werden.

Wenn Moulle angibt, dass die Spitzberge stets von weichen Sandsteinen oder Schiefern gekrönt werden, so ist dies jedenfalls nicht richtig (l. c. Sep.-Abdr. 35). Es mag vereinzelt vorkommen und muss ja auch dann vorkommen, wenn eine vorhanden gewesene widerstandsfähige Kuppe erst

Digitized by Google

vor kurzem gänzlich der Erosion zum Opfer gefallen ist. Jedenfalls habe ich beim Besteigen zahlreicher solcher isolirten Berge ausnahmslos noch eine Decke von Diabas oder wenigstens Reste gefunden, welche das frühere Vorhandensein einer solchen beweisen. Ganz anders als die Karroosandsteine verhält sich der viel festere, dem Tafelberg-Sandstein der südlichen Cap-Colonie ähnliche und wahrscheinlich ebenfalls palaeozoische Sandstein im nördlichen Transvaal, indem er häufig Anlass zur Bildung von Tafelbergen gibt.

Die Karroosandsteine sind grösstentheils licht gefärbt mit gelblichen, graulichen, violetten oder grünlichen Nüancen, und das Bindemittel erwies sich, soweit ich es geprüft habe, ausnahmslos schwach kalkhaltig. In der Regel ist es stark thonig, und dann pflegen sich recht reichlich Blättchen eines lichten Glimmer einzustellen. Solche Varietäten gleichen den Keuperwerksteinen in hohem Grade, besonders wenn dunklere Flatschen geflammte Zeichnungen erzeugen, was gar nicht selten der Fall ist. Diese Sandsteine werden auch besonders als Bausteine verwerthet und sind daher in der Nähe grösserer Orte durch Steinbrüche aufgeschlossen. Mächtigere Schichtencomplexe pflegen an der Grenze gegen das Schiefergebirge in Sandsteinschiefer überzugehen und dünne Schieferlagen eingeschaltet zu enthalten. Dünnschiefrige und glimmerreiche, echte Sandsteinschiefer treten aber auch dort selbständig in dünnen Lagen auf, wo im allgemeinen das Schiefergebirge vorwaltet. Ebenfalls zu recht mächtiger Entwickelung gelangen gelegentlich Sandsteine von feinem und gleichmässigem Korn, welche reich an Feldspathkörnchen sind.

Alle diese stark thonigen und ziemlich mürben Sandsteine sind weitaus herrschend und in den oberen Regionen, wie es scheint, fast allein vertreten, wenn man von den ganz untergeordneten Lagen bituminöser, kalkreicher Varietäten absieht, welche später Erwähnung finden werden. Ein festeres Gefüge trifft man z. B. in der Grenzregion gegen die untere Abtheilung der Karrooformation ziemlich verbreitet; ferner in der Gegend der Vereinigung von Modderriver und Rietriver in Griqualand West, wo die Bänke hinreichend fest sind, um Anlass zur Bildung von Stromschnellen und kleinen Wasserfällen zu geben.

Digitized by Google

Accessorische Bestandmassen und Mineralien scheinen sehr selten zu sein; ich habe nur scheibenförmige Concretionen und Eisenkies oder Pseudomorphosen von Eisenhydroxyd nach letzterem beobachtet. Wyley erwähnt noch Prehnit vom Berge Hangklip bei Middelburg (l. c. 45); doch lässt sich aus seiner Angabe nicht ersehen, ob derselbe im Sandstein oder im Diabas vorkommt.

Die massigen Sandsteinbänke fallen in der Regel fast senkrecht ab und ragen etwas über die Schiefer hervor, jene für eine afrikanische Landschaft so charakteristischen sogenannten „Kränze" bildend; aus der Ferne sieht dann ein Kegelberg wie von Reifen umgeben aus. In Folge dieser Steilwände sind Tafelberge oft nur an einer oder an einigen wenigen Stellen zugänglich und boten in früherer Zeit den von Weissen wie von Kaffern arg bedrängten Buschmännern leicht zu vertheidigende Zufluchtsstätten. Die Kränze zeigen häufig eine stark ausgeprägte verticale Zerklüftung, so dass man sie ohne nähere Prüfung mit säulenförmig abgesonderten Diabaslagern verwechseln kann.

Da die Sandsteine bei mächtigerer Entwickelung besonders hervortreten, so hat man nach ihnen einzelne Abtheilungen benannt, so im unteren Niveau die Koonap-Sandsteine, in einem höheren die Beaufort grits ausgeschieden. Man könnte darnach glauben, dass die mittlere Karrooformation vorwiegend aus Sandsteinen bestehe; in Wirklichkeit stehen aber Schiefergesteine an Gesammtmächtigkeit jenen nicht nach, ja, dürften nach meiner Schätzung sogar erheblich vorwiegen. In der Umgebung der Diamantfelder sind sie an der Oberfläche fast allein entwickelt und waren schon zur Zeit meiner Anwesenheit durch die Gruben, sowie durch Brunnen bis auf 30 m. Tiefe aufgeschlossen. Dass aber auch hier, wie überall, den vorherrschenden Schiefern wenig mächtige Sandsteinbänke eingeschaltet sind, beweisen einerseits die Einschlüsse im diamantführenden Boden, andererseits gelegentliche Aufschlüsse durch Flussläufe und Profile, welche die in Griqualand West und im angrenzenden Theil des Oranje-Freistaats spärlichen Tafelberge liefern.

Die Schiefer zeigen sehr mannigfaltige, meist dunkle Färbungen, unter denen graue, röthliche, violette und grün-

Digitized by Google

liche Nüancen vorherrschen. Ganz lichte Färbungen, denen man gelegentlich, besonders auf den Diamantfeldern begegnet, dürften stets durch secundäre Veränderungen bedingt sein. Es sind ausschliesslich zur Gruppe der Mergel gehörige Gesteine, allerdings mit einem stark wechselnden Gehalt an Carbonaten; das Pulver entwickelt oft schon mit kalter, stets aber mit heisser Salzsäure Kohlensäure. Mit echten Mergelschiefern, welche anstehend dünn- und parallelschiefrig erscheinen, im Ausgehenden aber leicht in scherben-, knollen- oder stängelförmige Stücke zerfallen, wechsellagern feste Bänke mit im grossen muschligem, im kleinen splittrigem Bruch von durchaus steinmergelartigem Habitus, so dass man lebhaft an typische Keupermergel-Regionen erinnert wird. Schliesslich finden sich sehr häufig quarzreiche, carbonatarme Schichten, welche ihrem Gesammthabitus nach Sandsteinschiefern mit starkem thonigen Bindemittel ähnlich sehen und etwa den Übergang dieser in Schieferthone vermitteln; man kann sie wohl passend als „sandige Schiefer" bezeichnen.

Unter den im ganzen herrschenden Mergelschiefern treten mancherlei charakteristische Varietäten auf. Am häufigsten sind solche mit feiner Structur, deren Hauptgemengtheil gleichmässig vertheilte glimmerartige Mineralien bilden. Meist lassen sich die Blättchen und Leistchen mit starker Vergrösserung noch deutlich erkennen; zuweilen kann man nur aus der Art der feinen Aggregatpolarisation mit grosser Wahrscheinlichkeit auf einen dichten Glimmer schliessen. In der Regel sind die Blättchen farblos; doch habe ich auch Schiefer mit vorwaltend lichtbräunlichen, deutlich pleochroitischen Blättchen beobachtet, welche durch Digestion mit Salzsäure nicht angegriffen wurden, und daher wohl ebenso wie jene als muscovitartige Glimmer zu deuten sind. Nur je vereinzelt auftretende, aber stets erheblich grössere Dimensionen, als die übrigen, erreichende Individuen gehören sicher einem dunklen und stark absorbirenden Magnesiaglimmer an. Ferner sind ebenfalls constant vorhanden neben winzigen Körnern von Quarz solche von splitterförmiger Gestalt, sowie opake Körnchen, letztere aber stets in sehr mässiger Zahl. Dagegen treten nur in den am feinsten struirten Varietäten, und auch hier verhältnissmässig spärlich, winzige stabförmige Gebilde

Digitized by Google

auf, welche wohl den Thonschiefernädelchen angehören. Trübe flockige Partien, die kaum durchscheinend werden, stellen sich zuweilen sehr reichlich ein, sind aber keineswegs immer vorhanden. Wenn sie sich auch nicht näher deuten lassen, so liegt es doch nahe, an glimmerartige oder kaolinartige Substanzen zu denken, wie sie aus der Zersetzung von Feldspathen hervorgehen. Die Carbonate treten in zweifacher Form auf; entweder in so feiner Vertheilung, dass sie sich nur auf chemischem Wege nachweisen lassen, oder in Form feiner, zarte Aggregatpolarisation liefernder Häute, deren Wegätzen aber den Zusammenhang des Präparats nicht merklich lockert. Da die Carbonate durch die Lincк'sche Flüssigkeit leicht gelöst werden, so sind sie jedenfalls magnesiumarm.

In einigen Varietäten tritt schon makroskopisch silberweisser Glimmer hervor, und zwar in nicht unbedeutender Menge; ferner können sich Schiefer, die makroskopisch gleich dicht erscheinen, unter dem Mikroskop durch die Grösse der einzelnen Gemengtheile merklich unterscheiden.

Andere Mergelschiefer, welche unter der Lupe gefleckt oder fein punktirt erscheinen, zeigen unter dem Mikroskop eine Art oolithischer Structur. Blättchen des muscovitähnlichen Glimmer vereinigen sich zu concretionären Gebilden von mehr oder minder regelmässig rundlicher Begrenzung und treten dadurch scharf hervor, dass sie von einer etwas lichteren Zone gleicher Zusammensetzung umgeben werden, an welche sich bald ein dichter Kranz feiner, bald ein lockerer Kranz grösserer opaker Körner anlegt. Im letzteren Fall trifft man sie auch im Innern der Kügelchen unregelmässig vertheilt, im ersteren nicht, und in beiden Fällen treten sie ausserhalb derselben nicht auf. Die übrige Gesteinsmasse, welche theils nur die Zwischenräume sich berührender Kügelchen ausfüllt, theils eine Art zusammenhängender Grundmasse bildet, ist sehr fein struirt und entweder lichter als jene, oder durch gleichmässig vertheilte Eisenhydroxyde dunkler. Solche oolithähnliche Mergelschiefer wurden sowohl in dem die Diamantgruben begrenzenden festen Fels beobachtet, als auch am Coleskop bei Colesberg in der Cap-Colonie, also in einem sehr verschiedenen Niveau. Als eine Contactbildung, an die man wohl unter Berücksichtigung der später zu

Digitized by Google

beschreibenden Contactgesteine denken könnte, lassen sie sich nicht auffassen, da Eruptivgesteine in unmittelbarer Nähe fehlen.

In dem Gebiet zwischen Kimberley und Modderriver, ferner bei Likatlong am Zusammenfluss von Hartriver und Vaal treten häufig schwarze, bituminöse Mergelschiefer auf, welche sich von den übrigen Varietäten auch durch Dünn- und Ebenschiefrigkeit auszeichnen. Sie gleichen den Pietermaritzburger Schiefern und wurden von mir in einem anderen Niveau der mittleren Karrooformation nicht beobachtet. Besonders bitumenreiche Schiefer mit zahlreichen kleinen Eisenkiesconcretionen förderte man bei der Anlage von Brunnen auf den Diamantfeldern vielfach zu Tage.

Die Steinmergel unterscheiden sich unter dem Mikroskop im allgemeinen nicht wesentlich von den Mergelschiefern; in solchen Varietäten, die man als „sandige Steinmergel" bezeichnen könnte, und welche den Übergang zu Sandsteinen vermitteln, stellen sich Quarzkörner reichlicher und grösser ein. Wie bei den Schiefern sind die Carbonate direct nicht immer wahrnehmbar, besonders wenn trübe flockige Partien sich anreichern, welche jene wahrscheinlich einhüllen. Einige Varietäten mögen kurz beschrieben werden.

Zwischen Beaufort West und Richmond fand ich an mehreren Punkten Steinmergel recht verbreitet, welche sich durch eine ungewöhnlich lebhafte grünliche Färbung auszeichnen. Sie enthalten in grosser Zahl Körner und Säulchen, die einem monoklinen Mineral angehören und sich nach zeisiggrüner Farbe, Pleochroismus, kräftiger Doppelbrechung und Unzersetzbarkeit durch Salzsäure als Epidot bestimmen lassen. Zusammen mit etwas Calcit macht er den grössten Theil des Bindemittels der Quarzkörner aus und ersetzt also die glimmerartigen Mineralien in den normalen Varietäten. Auch in zwei Steinmergeln, die jedoch makroskopisch homogen erscheinen, wurden unter dem Mikroskop rundliche concretionäre Gebilde beobachtet. In dem einen gleichen sie den oben aus Schiefern beschriebenen: um einen trüben Kern legt sich eine Zone deutlich erkennbarer Glimmerblättchen, auf welche eine schmale trübe und dunkle Zone folgt; opake Körnchen fehlen. In dem zweiten bestehen sie aus feinkörnigem Calcit und lassen sich vielleicht mit den

Digitized by Google

früher von mir aus einem Trochitenkalk von Remich in Luxemburg beschriebenen und abgebildeten Pseudoolithen vergleichen[1]. Die Individuen je eines solchen im Dünnschliff scheibenförmig sich darstellenden Aggregats löschen ganz oder nahezu gleichzeitig aus.

Nach dem mikroskopischen Befund kann man die Mergelschiefer und Steinmergel als carbonathaltige Schieferthone charakterisiren, die sich durch eine auffallende Armuth an opaken Erzen auszeichnen. Bemerkenswerth sind ferner der öfters constatirte und zuweilen gar nicht spärliche Gehalt an Biotit und die Neigung zu concretionären Anhäufungen einzelner Gemengtheile.

Wie die Sandsteine, so zeichnen sich auch die Schiefer durch Armuth an accessorischen Bestandtheilen aus. Mergelschiefer enthalten zuweilen Kalklinsen, Steinmergel Eisenkies und in der Gegend von Colesberg Gebilde, welche mandelförmigen Secretionen gleichen und aus wechselnden Lagen von feinkörnigem weissen Quarz und von delessitartigen, durch Salzsäure leicht zersetzbaren Substanzen bestehen.

Da das Bindemittel aller Sandsteine Carbonate enthält, wenn auch meist nur in geringer Menge, die Schiefer ausnahmslos merglig sind, erscheint es auffallend, dass eigentliche Kalksteine innerhalb dieses mächtigen Schichtencomplexes so selten auftreten, dass sie, soweit mir bekannt ist, in der Literatur nicht einmal Erwähnung gefunden haben. Doch fehlen sie nicht gänzlich. Besonders in der Gegend von Colesberg habe ich mehrfach Einlagerungen von Kalksteinen beobachtet, die dann gewöhnlich von Sandsteinen begleitet werden, deren Bindemittel vorherrschend aus Carbonaten besteht. Zu Kuilfontein zwischen Colesberg und Hanover ergab sich z. B. folgendes Profil von unten nach oben:

1. Normale Mergelschiefer.
2. Dunkelgrauer, bituminöser Sandstein mit reichlichem kalkigen Bindemittel, hie und da gefleckt wie die sogenannten Tigersandsteine.
3. Dichter bläulichschwarzer Kalkstein, nur mit Spuren von Magnesiumcarbonat. Unter dem Mikroskop erweist

[1] Vgl. dies. Jahrb. 1882. I. 178. Sammlung von Mikrophotographien etc. Taf. XXXIX. Fig. 4.

Digitized by Google

sich die Hauptgesteinsmasse so fein struirt, dass sie selbst bei stärkster Vergrösserung nur Aggregatpolarisation liefert; eingelagert finden sich reichlich gleichmässig vertheilte Quarze, welche die allerunregelmässigsten Formen zeigen, häufig scharfeckige Splitter bilden und zumeist ganz frei von Einschlüssen sind.

4. Normaler Sandstein mit einer dünnen Einlagerung eines schwarzen, bituminösen Sandsteins mit kalkigem Bindemittel; von der unteren Bank unterscheidet er sich nur durch dunklere Färbung und durch einen Gehalt an silberweissem Glimmer.
5. Diabas.

Auch am Coleskop unweit Colesberg finden sich kalkreiche Einlagerungen. Die Hauptmasse des Berges besteht aus graulichgrünen, dunkelvioletten und schwarzen, gelegentlich linsenförmige Kalkknollen einschliessenden Mergelschiefern, denen dünne Bänke von Steinmergeln, Sandsteinschiefern und Keuperwerkstein-ähnlichen Sandsteinen eingeschaltet sind. Nahe am Fuss tritt ein dunkelgrauer, kalkreicher Sandstein auf, gefleckt durch lichte, rundliche Partien; es sind concretionäre Gebilde, welche durch die Atmosphärilien weniger leicht angegriffen werden, so dass die Verwitterungsflächen sich dicht mit kuglig-knotigen Erhöhungen bedecken. In der Nähe des Gipfels stellt sich eine andere eigenthümliche Einlagerung ein. Makroskopisch gleicht dieselbe einem schneeweissen Marmor von mittlerem Korn mit einem accessorischen grünlichen Mineral. Die mikroskopische und chemische Prüfung ergibt, dass das Gestein ein Gemenge von feinkörnigem Quarz und späthigem magnesiumhaltigen Calcit ist, in welchem Sphärolithe eines delessitartigen, von Salzsäure leicht zersetzbaren Minerals liegen, die sich lagenweise anreichern und eine gebänderte Structur erzeugen. Die obere Partie des Berges besteht aus einer mächtigen Sandsteinbank mit verticaler Zerklüftung, überlagert von Olivindiabas.

Einen dichten, stark bituminösen, quarzfreien Kalkstein beobachtete ich ferner als Einlagerung in den oben erwähnten dünnschiefrigen, bitumenreichen Mergelschiefern von Likatlong am Vaalfluss. Unter dem Mikroskop heben sich von einer feinkörnigen, gleichmässig durch Bitumen braun gefärbten Haupt-

Digitized by Google

gesteinsmasse unregelmässig begrenzte Calcitpartien von gröberem Korn scharf ab, welche frei von Bitumen sind. Ähnliche Kalksteine trifft man auch als gelegentliche Einschlüsse im diamantführenden Boden. Nach diesen Beobachtungen sind Kalksteine zwar selten, aber nicht auf ein bestimmtes Niveau beschränkt.

Da bituminöse und kohlige Substanzen sich weder unter dem Mikroskop, noch durch die leichtere oder schwierigere Verbrennbarkeit genügend unterscheiden lassen, suchte ich zu ermitteln, ob erstere aus den vorliegenden Gesteinen extrahirt werden können, selbst wenn sie nicht sehr reichlich vorhanden sind. Ich benutzte zu diesem Zweck Äther und den Soxhlet'schen Extractionsapparat, welcher gestattet, mit einer verhältnissmässig geringen Menge von Flüssigkeit beliebig lange zu operiren. Gelingt auch keine vollständige Extraction, so erhielt ich doch in allen untersuchten Fällen nach Verdunstung des Äthers ölige Substanzen von ozokeritähnlichem Geruch und von mehr oder minder intensiver bräunlicher Färbung.

### Eruptivgesteine der mittleren Karrooformation.

Schon oben wurde das Auftreten zahlreicher Lager von Eruptivgesteinen in der mittleren Karrooformation erwähnt und der Einfluss hervorgehoben, den sie auf die Gestaltung der Oberfläche ausüben. Von grösster Bedeutung sind sie jedoch für die Culturfähigkeit der hier in Betracht kommenden Gegenden, soweit von Bodencultur dort die Rede sein kann, wo das Verhältniss von Ackerland zur Weide noch ein ganz minimales ist. Die Karroo-Schiefer und -Sandsteine würden jedenfalls eine verhältnissmässig ärmliche Ackerkrume liefern, wenn nicht die alkalireichen und phosphorsäurehaltigen Zersetzungsproducte der Eruptivgesteine in reichlichem Maasse hinzukämen.

Neben Lagern treten Gänge auf, welche sich jedoch weniger bemerklich machen, da ihre Mächtigkeit in der Regel eine geringe ist. Sie durchsetzen nicht nur die Sedimente, sondern auch die massigen Gesteine.

Die Zahl der Lager und Gänge ist eine ganz erstaunliche, und es würde selbst auf Karten in grossem Masstabe nicht mög-

Digitized by Google

lich sein, dieselben einzeln einzutragen, ohne fast die ganze Fläche mit ihnen zu bedecken. Am dichtesten scharen sie sich wohl in der nächsten Umgebung von Colesberg, so dass der Ort von einem gewaltigen Felsenmeer wild über einander gethürmter wollsackförmiger Blöcke umgeben und überragt wird. Auch die Gegend von Richmond verdient wegen der Zahl und Mannigfaltigkeit der Vorkommnisse besonders hervorgehoben zu werden. Sie bilden ferner einen bedeutenden Theil des anstehenden Fels, welcher den diamantführenden Tuff umgibt und spielen eine hervorragende Rolle unter dessen Einschlüssen. Letztere finden jedoch im folgenden keine Berücksichtigung, da ihre Beschreibung sich zweckmässiger an diejenige der übrigen Einschlüsse bei der speciellen Behandlung der Diamantfelder anreiht.

Alle diese Eruptivgesteine gehören mit einer Ausnahme den Plagioklas-Augit-Gesteinen an, und zwar der älteren Abtheilung. Für vortertiäres Alter sprechen nicht nur Structur und Gesammthabitus, sondern dasselbe scheint mir mit Evidenz aus den unten eingehend zu beschreibenden Contactphänomenen hervorzugehen, wo ich auf die Altersfrage noch zurückkommen werde. Diese Angaben beziehen sich zunächst natürlich nur auf das von mir beobachtete und gesammelte, allerdings recht umfangreiche Material. Aber ich glaube annehmen zu dürfen, dass überhaupt ältere Plagioklas-Augit-Gesteine in der mittleren Karrooformation fast allein vertreten sind, da es sehr auffallend wäre, wenn mir Vertreter anderer Gesteinsreihen vollständig entgangen sein sollten.

Ich möchte diese Ansicht deshalb ganz besonders betonen, da die vorliegenden Gesteine in der Literatur unter den verschiedensten Namen beschrieben oder erwähnt werden. Die Bewohner Südafrikas und die Diamantgräber nennen sie „ironstone", entweder weil lose Blöcke in der Regel von einer rostfarbenen Verwitterungsrinde umgeben sind, oder wegen des hohen specifischen Gewichts, möglicherweise auch aus beiden Gründen. In den älteren geologischen Arbeiten über Südafrika z. B. von Bain, Wyley, Sutherland, Griesbach, Dunn, Stow werden sie als trap, greenstone, basalt, dolerite, basaltic trap, greenstone trap, diorite bezeichnet, allerdings ohne nähere Charakteristik und auch wohl ohne zwischen

Digitized by Google

diesen Bezeichnungen einen bestimmten Unterschied zu machen. Jedenfalls dürften unter Basalt schwerlich, wie es in Deutschland der Fall sein würde, Gesteine tertiären Alters gemeint sein, sondern eher dichte Varietäten im Gegensatz zu den Doleriten von gröberem Korn, da man ja in England ältere und jüngere Gesteine meist nicht zu unterscheiden pflegt.

Besonders auffallend erscheint es jedoch, wenn Moulle die fraglichen Gesteine als Diorite bezeichnet und direct angibt, dass sie aus Amphibol und Feldspath bestehen und einerseits in Amphibolite, andererseits in sehr feldspathreiche Varietäten übergehen[1]. Es ist dieser Irrthum um so unerklärlicher, als einzelne Vertreter von Fouqué und Michel-Lévy als „dolérites (diabases?) andésitiques, labradoriques et anorthiques à structure ophitique" beschrieben worden sind[2], und die französische Literatur doch zum mindesten von Moulle hätte berücksichtigt werden können und müssen. Fouqué und Michel-Lévy lassen die Frage nach dem Alter der von ihnen an Handstücken untersuchten Gesteine unentschieden.

Unter den Plagioklas-Augit-Gesteinen sind beide Abtheilungen vertreten, sowohl die olivinfreien, als auch die olivinführenden, und zwar letztere weitaus am reichlichsten. In beiden Fällen ist die Structur theils körnig, theils porphyrisch, so dass nach der in Deutschland üblichen Classification Diabase, Olivindiabase, Diabasporphyrite und Olivindiabasporphyrite resultiren. Nur in einem Vorkommen stellt sich amorphe Basis ein; dasselbe würde also als Melaphyr zu bezeichnen sein, obwohl es sich sonst den übrigen Gesteinen auf das innigste anschliesst.

Da die Structur im allgemeinen zu der Art des Auftretens in Beziehung steht, so erscheint es mir zweckmässig, die lager-

[1] l. c. 51 ff. Man kann allerdings die Angaben von Moulle nicht ohne weiteres auf die hier in Betracht kommenden Gesteine übertragen, da er geologisch und petrographisch durchaus verschiedenartiges Material als gleichwerthig und gleichartig behandelt; doch hebt er ausdrücklich hervor, dass seine Diorite ganz besonders in der Karrooformation vertreten sind.

[2] Anhang zu M. Chaper: Note sur la région diamantifère de l'Afrique australe. Paris 1880, und Note sur les roches accompagnant et contenant le diamant dans l'Afrique australe. Bull. de la Soc. Minér. de France. 1879. II. 216—228.

Digitized by Google

förmigen und gangförmigen Diabase getrennt zu behandeln. Auch die Contactphänomene sind nicht die gleichen; doch dürfte dies lediglich von der grösseren oder geringeren Masse des zur Eruption gelangten Materials abhängen, soweit nicht verschiedenartige Nebengesteine in Betracht kommen.

### Lagerförmige Plagioklas-Augit-Gesteine.

Unter den Plagioklas-Augit-Gesteinen nehmen nur die lagerförmigen Diabase wesentlichen Antheil an dem Aufbau der mittleren Karrooformation. Die jetzige Art des Auftretens ist allerdings in der Regel eine deckenförmige, da, wie schon oben erwähnt wurde, die Diabase es vorzugsweise sind, welche der Erosion einigen Widerstand entgegensetzen und derart den Gipfel der meisten isolirten Berge krönen. Ursprünglich waren sie aber zweifellos den sedimentären Schichten eingeschaltet. Der makro- und mikroskopische Habitus der ganzen Gruppe ist nämlich mit ganz vereinzelten Ausnahmen ein so gleichförmiger, dass man wohl berechtigt ist, auch eine gleichartige Entstehung anzunehmen, und wo die Aufschlüsse günstig sind — z. B. in den Diamantgruben, am Spitzkop unweit Du Toits Pan, am Vollkranz bei Fauresmith — trifft man unter der Diabasdecke noch weitere Lager zwischen den Schiefern und Sandsteinen. Dass diese Lager aber nicht etwa gleichzeitig mit dem Absatz der letzteren in Form von lavaartigen Ergüssen entstanden sind, sondern sich erst später zwischen die Sedimente eingedrängt haben, geht aus den Contacterscheinungen hervor, welche sowohl im Liegenden, als auch im Hangenden auftreten. Gegen eine ursprüngliche deckenförmige Entstehung spricht auch das vollständige Fehlen blasiger oder mandelsteinartiger Structurformen, welche bei Decken an der Oberfläche aufzutreten pflegen, sowie das ebenfalls vollständige Fehlen tuffartiger Begleiter. Wenn Moulle sagt (l. c. 55): „contrairement aux mélaphyres, les coulées de diorite couvrent le sol actuel et en épousent la forme. De leur étude, il ressort pour nous la conviction absolue, qu'elles sont dans leur ensemble postérieures à la grande dénudation du terrain triasique", so scheint mir für diese Auffassung auch nicht eine einzige Beobachtung zu sprechen.

Digitized by Google

Es mögen hier zunächst diejenigen Vorkommnisse im Zusammenhang beschrieben werden, bei denen ein lagerförmiges Auftreten mit Sicherheit oder mit grosser Wahrscheinlichkeit constatirt werden konnte. Es sind mit vereinzelten Ausnahmen normale Diabase mit diabasisch-körniger Structur oder, wie ich sie zu bezeichnen vorziehe, mit ophitischer Structur und zwar ganz vorzugsweise Olivindiabase.

Im allgemeinen ist das Korn der Olivindiabase als ein für Diabase mittleres zu bezeichnen; gelegentlich kommen auch kleinkörnige Varietäten vor, aber nie dichte. Den Feldspath kann man in der Regel schon unter der Lupe deutlich an seinen ebenen und glänzenden Spaltungsflächen erkennen, und zuweilen lässt sich auch Zwillingsstreifung wahrnehmen. Selten tritt der Olivin in kleinen gelblichen Körnern mit muschligem Bruch makroskopisch hervor, und der Augit ist nie ohne Hülfe des Mikroskops sicher zu bestimmen. Daher erklärt es sich, dass diese Gesteine von südafrikanischen Geologen öfters für Diorite gehalten worden sind. Griesbach führt an, in der grossen Karroo einmal Spuren von Gold beobachtet zu haben; vielleicht liegt eine Verwechslung mit Eisenkies vor, der sich nicht selten als accessorischer Gemengtheil einstellt.

Die Farbe ist bei mittlerem Korn ein nicht allzu dunkles Bläulichgrau; bei feinerem Korn wird die Färbung dunkler, und der bläuliche Ton tritt zurück oder verschwindet auch ganz. Obwohl lose Blöcke und Kluftflächen fast ausnahmslos mit einer sehr charakteristischen rostfarbenen Zersetzungsrinde bedeckt sind, so ist dieselbe doch meist nur wenige Millimeter dick und recht scharf begrenzt; daher erscheinen selbst nahe der Oberfläche geschlagene Handstücke, wie man sie sich allein auf derartigen Reisen verschaffen kann, vollständig frisch. Blöcke, die im Diamantboden ringsum eingebettet liegen, sind dagegen meist gänzlich und in hohem Grade zersetzt.

Kuglig-schalige und unvollkommen säulenförmige Absonderung ist eine sehr häufige Erscheinung. Letztere tritt in der Nähe weniger deutlich hervor, als aus der Ferne und führt zur Bildung wollsackähnlicher Formen bei losgelösten Blöcken, wie sie besonders zahlreich in der Umgebung von

Digitized by Google

Colesberg und Richmond in der Capcolonie, zwischen Rietriver und Philipolis im Oranje Freistaat angehäuft sind. Die grobschalige Absonderung tritt wie gewöhnlich erst bei beginnender Verwitterung deutlich hervor. Eine ausnahmsweis dünnschalige zeigten zersetzte Blöcke auf dem grossen Platberg an der Grenze von Griqualand West; die einzelnen Schalen sind hier kaum Millimeter dick. Eckig-körnige Absonderung beobachtete ich besonders deutlich am Kubiep, einem nahe am Vaalfluss gelegenen grossen Tafelberg.

Eine ungewöhnlich grosse Mächtigkeit erlangt der Diabas bei Howik in Natal, wo scheinbar eine Bank Anlass zu dem gewaltigen oberen Umgenifall gibt. Nach Sutherland[1] sollen sich hier jedoch drei verschiedene, durch Schiefer getrennte Lager unterscheiden lassen. Bei meiner allerdings flüchtigen Untersuchung nahm ich hiervon nichts wahr; doch würde selbst bei Annahme von drei Lagern die Mächtigkeit eines jeden noch bemerkenswerth sein.

Nach dem Resultat der mikroskopischen Untersuchung ist die mineralogische Zusammensetzung eine sehr gleichförmige, wie es bei Diabasen im Vergleich mit anderen Gesteinsfamilien häufig der Fall zu sein pflegt. Plagioklas, Augit, Olivin und opakes Erz sind allen Olivindiabasen gemeinsame Gemengtheile; Apatit dürfte kaum je vollständig fehlen, und in der Regel tritt noch Biotit in spärlichen Blättchen hinzu. Erwähnenswerth dürfte sein, dass Zirkon nicht ein einziges Mal mit Sicherheit beobachtet wurde.

Der Plagioklas tritt mit ganz vereinzelten Ausnahmen in Leistenform auf, ist gewöhnlich vollständig frisch, auch wenn der Augit schon merklich angegriffen erscheint, und meist frei von Einschlüssen. Zuweilen enthält er Poren, die leer zu sein scheinen und sich local häufen. Gleichzeitige Zwillingsbildung nach Albit- und Periklingesetz ist selten; vielen Präparaten fehlt sie ganz, und stets beschränkt sie sich nur auf wenige Individuen. Besonders bemerkenswerth ist das Verhalten bei der Digestion der Dünnschliffe mit concentrirter Salzsäure. Sehr bald beobachtet man die vollstän-

[1] On the geology of Natal. Natural History Association of Natal. 27th June 1868.



Digitized by Google

dige Zersetzung einzelner schmaler Lamellen, die meist scharf und geradlinig, selten zackig begrenzt sind, während der Rest des Krystalldurchschnitts vollständig unverändert erscheint. Nach längerer Behandlung, deren Zeitdauer allerdings bei den einzelnen Vorkommnissen nicht unerheblich schwankt, wird dann in der Regel der ganze centrale Theil zersetzt, so dass zwei scharf begrenzte Randleisten oder rings geschlossene schmale Randzonen allein unzersetzt bleiben. Nur je vereinzelte Individuen verhalten sich abweichend, indem sie ganz unverändert bleiben oder vollständig zersetzt werden, die Veränderung an einem Ende der Leisten beginnt, oder auch wohl kleine unregelmässig begrenzte Partien zuerst angegriffen werden. Sind reichlich Sprünge vorhanden, so beginnt die Zersetzung längs derselben, und ein isotropes Geäder resultirt, dessen Maschen sich aber bald vereinigen. Als ich zu einem andern Zweck Diabaspulver einige Tage mit kalter concentrirter Salzsäure unter häufigem Umrühren behandelte, zeigte sich, dass ein nicht unbeträchtlicher Theil des Plagioklas in Lösung gegangen war. Ich hatte erwartet, dass dies erst beim Digeriren der Fall sein würde.

Zunächst folgt aus dem angeführten Verhalten, dass der Plagioklas im grossen und ganzen ein recht basischer ist, jedenfalls nicht saurer als Labradorit, womit auch die Breite der Lamellen und die grossen Auslöschungsschiefen übereinstimmen. Andererseits kann man das Intactbleiben einzelner scharf begrenzter und zwar ganz vorzugsweise peripherischer Lamellen, welches ausnahmslos in allen hier und später beschriebenen Diabasen beobachtet wurde, wohl nur so deuten, dass eine Verwachsung saurer und basischer Plagioklase vorliegt, wobei auch andern Erfahrungen entsprechend, letztere im Centrum liegen, wenn ein Unterschied im Verhalten centraler und peripherischer Theile hervortritt. Auf structurelle Eigenthümlichkeiten, etwa Anreicherung von Dampfporen oder anderer Einschlüsse, kann man im vorliegenden Fall die leichtere oder schwierigere Angreifbarkeit durch Säuren nicht zurückführen.

Obwohl hier augenscheinlich eine Art isomorpher Schichtung vorliegt, so ist es doch auffallend, dass vor der Behandlung mit Salzsäure ein zonarer Aufbau nur sehr selten hervor-

Digitized by Google

tritt. Wo dies der Fall ist, erweist sich die Auslöschungsschiefe in den centralen Zonen grösser, als in den randlichen, aber die verschieden auslöschenden Zonen sind nicht, wie man es nach dem Verhalten gegen Salzsäure erwarten sollte, scharf begrenzt, sondern greifen allmählich in einander über.

Vereinzelte neben den Leisten auftretende breite Plagioklase mit sehr unregelmässiger Begrenzung zeigen häufig undulöse Auslöschung, auch wohl Knickungen, Biegungen und Quetschungen, die auf mechanische Störung deuten, ferner häufiger als die normalen schmalen Leisten zonaren Aufbau. Solche Plagioklase repräsentiren wohl die Erstlinge der Ausscheidung unter den Feldspathen. Das gleiche dürfte bei vereinzelten grösseren Leisten der Fall sein, welche sich gelegentlich recht scharf von den übrigen abheben, ohne dass jedoch die Structur porphyrisch wird, d. h. zwei Generationen von Feldspath vorhanden wären. In der Regel sind die Plagioklasleisten von annähernd gleicher Grösse, oder es finden sich wenigstens bei wechselnden Dimensionen alle möglichen Übergänge.

Der Augit füllt die Lücken zwischen den Plagioklasleisten aus, und nur ganz vereinzelte Individuen lassen Begrenzung durch Krystallflächen wahrnehmen. Wo sich neben grösseren Feldspathen erheblich kleinere einstellen, treten einzelne Augite gern in Körnerform auf. Innige Durchwachsung von Augit und Plagioklas, wie es für den Kinne-Diabas Törnebohm's charakteristisch ist, wurde recht häufig beobachtet; sie pflegt dort vorzukommen, wo der Augit besonders grosse Dimensionen erreicht, und letzterer sieht dann wie zerhackt aus. Da die kleinen Feldspathleisten durchweg verschieden orientirt sind, so gehört die Erscheinung nicht zu den mikropegmatitischen Verwachsungen[1].

Die Farben sind recht schwankend, aber in der Regel licht. Ledergelbe Töne herrschen vor; sie gehen einerseits ins Farblose über, andererseits ins Gelbe, Gelbbraune, Braune, Violette. Grössere Individuen sind gewöhnlich lichter, als die kleineren, und an ersteren treten dann in der Regel mehrere Färbungen auf, wobei ausnahmslos der Krystall

[1] Vgl. dies. Jahrb. 1888. I. 212.



Digitized by Google

gegen den Rand zu dunkler wird. Der Übergang findet ganz allmählich statt, und Differenzen in den Auslöschungsschiefen liessen sich — wenn sie auch vorhanden sein mögen — jedenfalls nicht mit Sicherheit constatiren. Ein weniger in die Augen fallender Wechsel zwischen lichteren und dunkleren Partien kommt auch bei kleinen Individuen vor und ist eine weit verbreitete Erscheinung; dabei sind die Grenzen niemals scharf und verlaufen auf das mannigfaltigste, aber stets unregelmässig. Nur bei besonders dunkler Färbung und zwar vorzugsweise bei Tönen, die ins Violette gehen, beobachtet man zuweilen schwachen Pleochroismus.

Spaltungsdurchgänge treten oft in grosser Vollkommenheit nach Prisma und Orthopinakoid auf, weniger vollkommen und vereinzelt auch nach dem Klinopinakoid. Zwillinge oder schmale eingeschaltete Lamellen fehlen meist ganz und sind stets nur spärlich vorhanden.

Der Augit ist in der Regel frisch und frei von Einschlüssen. Wo sich chloritische Umwandlung zeigt, ist sie eine wenig tief eingreifende, so dass man nach der Behandlung der Dünnschliffe mit Salzsäure nicht wahrnimmt, dass der Augit nicht mehr ganz intact war. Das erste Stadium der Veränderung scheint durch das Auftreten einzelner etwas faseriger Partien angedeutet zu werden. Überhaupt spielen chloritische Substanzen in der ganzen Reihe der untersuchten Plagioklas-Augit-Gesteine eine auffallend untergeordnete Rolle. An Interpositionen sind besonders lang gestreckte winzige Gebilde hervorzuheben, welche sich dicht scharen, und welche ich am ehesten für Gasporen halten möchte.

Olivin tritt in sehr wechselnder Menge und ungleichmässiger Vertheilung auf; bald ist er recht reichlich vorhanden, bald nur so spärlich, dass man die Gesteine ausserhalb des Zusammenhangs betrachtet, als olivinführende Diabase bezeichnen müsste. Hinzu kommt, dass sich die Körner — krystallographische Begrenzung ist sehr selten — gewöhnlich an einzelnen Stellen scharen; es können sich daher Dünnschliffe desselben Handstücks bezüglich des Olivingehalts recht verschieden verhalten. Besonders olivinreich sind z. B. Vorkommnisse von Badfontein unweit Muraysburg, von Sihunal am unteren Vaal, vom Grossen Platberg; sehr olivinarm die-

Digitized by Google

jenigen von Bokkraal unweit Philipstown, von Philipolis im Oranje Freistaat und vom Kolberg in Griqualand West.

Die nicht gerade häufigen Interpositionen bestehen aus Gasporen, aus winzigen, theils rundlichen, theils ganz unregelmässig gestalteten, bläschenführenden Einschlüssen, bei denen sich nicht mit Sicherheit feststellen liess, ob sie fest oder flüssig sind, und aus Röhrchen, welche mit opaker Substanz erfüllt und einer Auslöschungsrichtung parallel angeordnet sind. Nur einmal wurde mit Sicherheit Picotit beobachtet, obwohl öfters vorkommende kleine reguläre Kryställchen trotz ihrer Undurchsichtigkeit wahrscheinlich demselben Mineral angehören. Im allgemeinen sind jedoch alle Gemengtheile der hier beschriebenen Plagioklas-Augit-Gesteine bemerkenswerth arm an Interpositionen.

Der Olivin ist stets älter als Augit und Plagioklas. Dafür spricht sowohl die Umhüllung durch letztere, als auch besonders die Körnerform; trotz der seltenen regelmässigen Begrenzung erscheint seine Gestalt nie durch die begleitenden Mineralien beeinflusst.

In der Regel fällt der Olivin zuerst den Atmosphärilien zum Opfer und ist umgewandelt, wenn Plagioklas und Augit noch vollständig intact sind; nur ausnahmsweise trifft man ganz oder wenigstens zum grössten Theil frische Olivinkörner, wenn der Augit schon beginnende Chloritisirung zeigt. Der Plagioklas ist jedoch trotz seiner basischen Zusammensetzung stets am widerstandsfähigsten.

Das häufigste Product der Umwandlung sind grüne, faserige, serpentinartige Substanzen, bei deren Bildung sich selten opake Erze ausgeschieden haben. Da der Olivin sich überall beim Glühen schnell und intensiv rothbraun färbt, also wahrscheinlich ziemlich eisenreich ist, so scheint die Veränderung ohne wesentliche Oxydation stattgefunden zu haben. Weniger häufig sind rothbraune bis dunkelbraune Producte, welche meist, wenn auch keineswegs immer, für sich allein auftreten.

Der Gehalt an opaken Erzen ist wechselnd, aber häufiger ein mässiger, als ein reichlicher; die Vertheilung ist bald gleichförmig, bald ungleichförmig. Je geringer die Zahl, desto grösser pflegen die einzelnen Individuen zu sein;

Digitized by Google

auch pflegen kleine Körner gleichmässiger als grosse vertheilt zu sein. Magnetit ist vorherrschend, zunächst kommt Eisenkies, der aber nicht überall vorhanden ist; Titaneisen tritt am spärlichsten auf, so weit man nach dem Verhalten der Dünnschliffe gegen Säure und nach dem Fehlen der am Titaneisen so häufigen Umwandlungserscheinungen schliessen kann. Sicher als Titaneisen möchte ich hier nur leistenförmige Erze deuten, welche auch durch längere Digestion mit starker Salzsäure nicht gelöst werden, während alle übrigen opaken Gemengtheile — mit Ausnahme des Eisenkies natürlich — sich merklich verschieden verhalten. Einmal wurde ein Einschluss von Apatit in Magnetit beobachtet.

Wenn auch Apatit nicht in allen Dünnschliffen mit Sicherheit aufgefunden werden konnte, so dürfte er doch überall vorhanden sein und tritt zuweilen sogar in sehr reichlicher Menge auf. Man trifft ihn am häufigsten als Einschluss im Plagioklas und dann besonders in dessen peripherischen Theilen. Feine Nadeln vereinigen sich hier gern zu Büscheln, die so liegen, als seien sie an die benachbarten Augite angeschossen; sollte der Schein nicht trügen, so müssten solche Augite vor dem Plagioklas zur Ausscheidung gelangt sein, oder beide wenigstens ziemlich gleichzeitig. In einem Olivindiabas enthalten die Apatite dunkle Kerne, wie man ihnen in jüngeren Gesteinen häufiger begegnet.

Ein fast constanter accessorischer Bestandtheil ist dunkler Biotit mit starker Absorption; er fehlt wenigen Vorkommnissen gänzlich, kommt aber stets nur in sehr geringer Menge vor. Er liebt es, sich an die opaken Erzkörner anzulegen und tritt öfters allein in dieser Form auf. Beginnende chloritische Umwandlung ist am Biotit äusserst selten.

Zuweilen stellt sich auch etwas Quarz mit wenigen grossen Flüssigkeitsporen ein, der wohl secundärer Entstehung sein dürfte.

Die Structur ist in weitaus den meisten Fällen eine echt ophitische, indem der Plagioklas in Leisten von annähernd gleichen Dimensionen auftritt, der Augit die Lücken ausfüllt und augenscheinlich späterer Entstehung ist. Vertreter dieser Ausbildung gelangten in grosser Zahl aus dem ganzen Gebiet der Karrooformation zur Untersuchung, soweit ich dasselbe

Digitized by Google

besucht habe, also aus der Cap-Colonie, aus dem Oranje Freistaat und aus Griqualand West. Ferner gehört hierher das mächtige Diabaslager am Umgenifall bei Howik in Natal.

In einigen wenigen Fällen werden etwas abweichende Structurverhältnisse dadurch bedingt, dass neben grösseren Plagioklasleisten zahlreiche kleine vorhanden sind, welche entweder augitfreie Stellen in wirrer Anordnung erfüllen oder reichlich im Augit eingewachsen liegen. Hier scheinen Augit und Plagioklas zum Theil gleichzeitig zur Ausscheidung gelangt zu sein. Diese Ausbildung zeigt unter anderen auch der oben erwähnte Olivindiabas von Pietermaritzburg in Natal, der einzige, welchen ich im Gebiet der unteren Karrooschiefer beobachtet habe.

Eine weitere kleine Gruppe bilden Olivindiabase von Jagersfontein bei Philipolis und von Magerfontein unweit Du Toits Pan. Es treten nicht nur grössere Plagioklase recht scharf hervor, sondern gleichzeitig neigt auch der Augit zur Körnerform, und statt eines einheitlichen Individuum füllen dann Körneraggregate die Lücken zwischen den Plagioklasleisten aus. Die Structur erinnert etwas an diejenige mancher Diabasporphyrite, ist aber eine porphyrartige, nicht eine porphyrische, wenn man letztere im Sinne von Rosenbusch definirt. Zu Magerfontein tritt diese Ausbildung an der Grenze des Lagers gegen den Schiefer auf.

Echt porphyrische Structur wurde nur an einem unzweifelhaft lagerförmig auftretenden Olivindiabas unweit Fauresmith beobachtet, und zwar ebenfalls an der Grenze eines sehr mächtigen, im übrigen normal entwickelten Lagers gegen den liegenden Sandstein. Kleine Plagioklasleisten, Augitkörner und reichliche Magnetitkryställchen bilden eine Grundmasse, in welcher Plagioklase und Olivine in mässiger Menge porphyrisch eingebettet liegen. Die grossen Plagioklase werden durch Digestion mit Salzsäure leicht und grösstentheils vollständig zersetzt, so dass nur hie und da ein schmaler Rand unverändert bleibt; die kleinen Plagioklase der Grundmasse werden dagegen in geringer Zahl angegriffen, scheinen also saurer als erstere zu sein, obwohl auch die verschiedenen Dimensionen mit von Einfluss sein können.

Die drei zuletzt beschriebenen Diabase zeichnen sich

Digitized by Google

schon makroskopisch vor den übrigen durch feineres Korn, sowie durch dunklere Färbung aus und enthalten zum Theil für das unbewaffnete Auge sichtbare Einsprenglinge.

Von den Olivindiabasen mit ophitischer Structur wurden die folgenden sechs analysirt[1]:

1. Oudedrift unweit Beaufort West, Capcolonie. Augit nicht ganz frisch; Olivin spärlich vorhanden und vollständig in grünen Serpentin umgewandelt; neben Magnetit etwas stabförmiges Titaneisen, welches von Salzsäure sehr schwer angegriffen wird; einige breite Plagioklase sehen wie zerquetscht aus und zeigen undulöse Auslöschung. Analysirt von Herrn Wappler.

2. Nel's Poort, NO. Beaufort West, Capcolonie. Neben kleinen, dunklen, bräunlichvioletten Augiten grosse lichtgelblich gefärbte mit Einschlüssen von Plagioklasleisten; Biotit verhältnissmässig reichlich; Olivin in mässiger Menge und z. Th. frisch; Erze vollständig in Salzsäure löslich. Analysirt von Herrn Holdermann.

3. Colesberg, Capcolonie; vorherrschende Varietät in der nächsten Umgebung des Orts. Mässiger Gehalt an z. Th. frischem, z. Th. serpentinisirtem Olivin; verhältnissmässig viel chloritische Substanz. Analysirt von den Herren Gridmore und Halberstadt.

4. Löbbes Farm zwischen Oranje und Rietfluss, Oranje Freistaat. Die in mässiger Zahl vorhandenen Olivinkörner sind grösstentheils frisch; Erz vollständig in Salzsäure löslich; grössere lichte Augite mit Plagioklaseinschlüssen. Analysirt von den Herren Dr. Ehrhardt und C. Schwedes.

5. Zwischen New Rush (Kimberley) und Du Toits Pan, Griqualand West. Der in recht reichlicher Menge vertretene Olivin zeigt z. Th. zierliche Krystallformen und ist grösstentheils frisch, sowie reich an Einschlüssen; die Umwandlung liefert sehr dunklen Serpentin. Analysirt von Herrn Dodge.

---

[1] Diese sowie die meisten folgenden Analysen wurden vor einer Reihe von Jahren im Laboratorium des Herrn Geheime Rath Bunsen in Heidelberg von Practicanten ausgeführt, und zwar in der Regel von Mehreren gleichzeitig, bis zwei übereinstimmende Resultate erzielt waren. Nur wenn das Mittel zweier Analysen gewählt wurde, werden beide Analytiker namhaft gemacht.

Digitized by Google

6. Pietermaritzburg, Natal. Sehr geringer Olivingehalt; chloritische Substanz ungewöhnlich reichlich. Analysirt von Herrn G. Bangel.

In allen analysirten Olivindiabasen tritt Magnetit in verhältnissmässig wenigen, aber grossen Individuen auf; etwas Biotit ist stets vorhanden; der Plagioklas wird durchweg von Salzsäure stark zersetzt, in No. 5 erweist er sich am widerstandsfähigsten. Die Vorkommnisse von Pietermaritzburg und Nel's Poort sind von merklich feinerem Korn als die übrigen.

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Kieselsäure . . | 52.7 | 52.67 | 51.68 | 51.82 | 51.75 | 52.44 |
| Thonerde . . | 11.4 | 10.62 | 13.88 | 13.55 | 14.67 | 12.16 |
| Eisenoxyd . . | 9.0 | 10.43 | 6.59 | 10.07 | 6.27 | 13.79 |
| Eisenoxydul . . | 3.7 | 4.21 | 4.44 | 2.85 | 4.73 | |
| Kalk . . . . | 11.6 | 11.70 | 10.99 | 10.86 | 11.94 | 10.46 |
| Magnesia . . | 7.4 | 7.04 | 7.87 | 7.35 | 5.19 | 7.40 |
| Kali . . . . | 0.7 | 0.65 | 0.81 | 0.23 | 0.58 | 0.49 |
| Natron . . . | 2.3 | 2.19 | 2.93 | 2.52 | 2.70 | 1.90 |
| Wasser . . . | 1.4 | 0.38 | 0.74 | 1.40 | 1.86 | 1.89 |
| | 100.2 | 99.89 | 99.93 | 100.65 | 99.69 | 100.53 |

Eine typisch ophitische Structur zeigen ferner Plagioklas-Augit-Gesteine, welche in der nächsten Umgebung von Colesberg und in der Gegend von Richmond sehr verbreitet sind und wahrscheinlich ursprünglich Lager gebildet haben. Sie treten nämlich in Form wahrer Felsenmeere an die Oberfläche, so dass die Lagerungsverhältnisse nicht mit Sicherheit beobachtet werden konnten. Beide Gesteine sind olivinfrei und gehören also zu den eigentlichen Diabasen, verhalten sich aber sonst recht verschieden; sie mögen daher einzeln beschrieben werden.

Der Diabas von Colesberg gleicht makroskopisch durchaus den oben beschriebenen Olivindiabasen. Unter dem Mikroskop unterscheidet er sich ebenfalls nur durch das Fehlen des Olivin. Der Augit zeigt beginnende chloritische Zersetzung; der Plagioklas wird nach längerer Digestion mit Salzsäure grösstentheils zersetzt; neben Magnetit tritt etwas Eisenkies auf. Kleine Blättchen von Biotit kommen in geringer Menge vor; z. Th. sind sie mit den opaken Erzen verwachsen, z. Th. liegen sie im Augit. Letztere könnten wohl aus diesem entstanden sein, da sie sich vorzugsweise in Begleitung chloritischer Substanzen einstellen.

Digitized by Google

Der Richmonder Diabas unterscheidet sich schon makroskopisch scharf von den übrigen bisher beschriebenen Gesteinen. Er ist grobkörniger und erheblich lichter gefärbt, indem die bis 5 Millimeter langen und fast ebenso breiten Augite von licht flaschengrüner Farbe sind; sie lassen sich zuweilen schwer von Olivin unterscheiden. Im Dünnschliff werden diese Augite im centralen Theil farblos bis lichtgelblich, gehen aber gegen den Rand allmählich in eine rothbraune oder violette Zone über ohne merkliche Veränderung der Auslöschungsschiefe. Die Spaltung ist oft sehr vollkommen; von den Einschlüssen lässt sich ein Theil nach den aussen anhaftenden Bläschen sicher als Glas bestimmen. Untergeordnet vorhandene kleinere Augite sind von dunklerer Farbe. Der Feldspath wird von Salzsäure schwieriger zersetzt, als in den übrigen Lagerdiabasen. Magnetit tritt in wenigen, aber grossen Krystallen auf, Biotit in rothbraunen, sehr stark absorbirenden Tafeln. Schliesslich sind noch Apatit und spärliche Quarzkörner zu erwähnen, welch letztere secundärer Entstehung sein dürften.

Die Zusammensetzung ergibt sich nach zwei fast genau übereinstimmenden Analysen der Herren Kinnicut und Burney wie folgt:

| | 7. |
|---|---|
| Kieselsäure . . . | 53.09 |
| Thonerde . . . . | 10.87 |
| Eisenoxyd . . . . | 8.03 |
| Eisenoxydul . . . | 3.87 |
| Kalk . . . . . | 9.63 |
| Magnesia . . . . | 8.85 |
| Kali . . . . . | 1.57 |
| Natron . . . . . | 3.23 |
| Wasser . . . . . | 1.13 |
| | 100.27 |

Vergleicht man die Analyse dieses olivinfreien Diabas mit den oben angeführten Analysen der Olivindiabase, so ergibt sich bei im allgemeinen recht ähnlicher Zusammensetzung zunächst ein etwas höherer Gehalt an Alkalien, ein geringerer an Kalk, woraus man um so mehr auf die Anwesenheit eines etwas saureren Plagioklas schliessen kann, als auch dessen Angreifbarkeit durch Salzsäure im Dünnschliff eine merklich langsamere ist. Vor allem fällt jedoch auf, dass der Magnesiagehalt grösser ist, obwohl Olivin gänzlich fehlt. Es war also

Digitized by Google

anzunehmen, dass der vorherrschende sehr lichte Augit einer besonders magnesiumreichen Varietät angehöre. Ich veranlasste daher Herrn Dr. J. Götz, denselben zu isoliren und zu analysiren. Verwandt wurde nur der schwerste Theil der vom Plagioklas getrennten Augite mit einem specifischen Gewicht von 3.30 bis 3.38, während die untergeordnet auftretenden kleineren und dunkleren Augite sich als leichter erwiesen. Zugleich wurde das specifische Gewicht des Plagioklas in diesem Gestein zu 2.686 bis 2.704 ermittelt. Die Analyse des lichten Augit lieferte die unter 7 a folgenden Zahlen oder die unter 7 b beigefügten, wenn man die Titansäure durch die äquivalente Menge Kieselsäure ersetzt:

| | 7 a. | 7 b. | 7 c. |
|---|---|---|---|
| Kieselsäure . . . | 53.36 | 53.89 | 54.29 |
| Titansäure . . . | 0.71 | | |
| Thonerde . . . . | 2.24 | 2.24 | 2.24 |
| Eisenoxyd . . . . | 1.51 | 1.51 | 1.51 |
| Eisenoxydul . . . | 12.63 | 12.63 | 12.63 |
| Kalk . . . . . | 8.17 | 8.17 | 8.17 |
| Magnesia . . . . | 22.22 | 22.22 | 22.22 |
| | 100.84 | | |

Der gefundenen Zusammensetzung entspricht am besten die Annahme folgender Pyroxensilicate, welche in dem beigefügten Mischungsverhältniss die oben unter 7 c stehenden Zahlen ergeben:

| | | |
|---|---|---|
| $MgO, SiO_2$ . . . | 52.42 | Proc. |
| $FeO, SiO_2$ . . . . | 23.15 | „ |
| $CaO, SiO_2$ . . . . | 16.92 | „ |
| $MgO, Al_2O_3, SiO_2$ . | 4.42 | „ |
| $MgO, Fe_2O_3, 4\,SiO_2$ | 4.15 | „ |
| | 101.06 | Proc. |

Sehen wir von den beiden letzten sehr untergeordnet auftretenden Silicaten ab, so sind die drei ersten im Aequivalentverhältniss 18 : 6 : 5 vertreten. Ein derartiges Vorwalten des Magnesiumsilicat dürfte bisher in keinem monoklinen Augit nachgewiesen sein, und dass lediglich ein solcher vorliegt, ergibt die mikroskopische Untersuchung auf das zweifelloseste.

Es mag hier gleichzeitig der sehr niedrige Thonerdegehalt aller analysirten südafrikanischen Diabase hervorgehoben werden, welcher mit der allem Anschein nach nothwendigen Annahme eines ziemlich basischen Plagioklas nicht recht in Über-

Digitized by Google

einstimmung zu bringen ist. Vielleicht gelingt es noch, aus dem einen oder anderen Gestein den Feldspath in genügender Menge und Reinheit für eine Analyse zu gewinnen.

Innerhalb des eben beschriebenen olivinfreien Diabas von Colesberg treten an mehreren Punkten sehr grobkörnige Varietäten auf (z. B. in der Nähe des Pulverthurms und des Pfandstalls), von denen sich nicht sicher entscheiden liess, ob es gangförmige Ausscheidungen oder Gänge sind. Die Grenze gegen das kleinkörnige Nebengestein ist jedenfalls keine irgendwie scharfe, und da unter den unzweifelhaft gangförmigen Diabasen eine nur annähernd ähnliche Ausbildung sonst nirgends beobachtet wurde, so dürften am ehesten Ausscheidungen vorliegen. Makroskopisch sind sie durch das Auftreten lang säulenförmiger, dunkler Augite charakterisirt, welche eine Länge von 12 mm. bei einer Breite von 2 mm. erreichen und häufig gebogen oder geknickt sind. Ausserdem treten schon für das unbewaffnete Auge grosse Plagioklase, reichlich Titaneisen und einige messinggelbe Körnchen — wahrscheinlich Kupferkies — deutlich hervor.

Beide grobkörnigen Varietäten sind Quarzdiabase, da der Quarz mit dem Plagioklas mikropegmatitisch verwachsen, also primärer Entstehung ist, und enthalten Titaneisen, Biotit und Augit, der öfters diallagähnlich erscheint; ferner ist in beiden ein Theil des Augit in Chlorit umgewandelt, der Feldspath stellenweise stark getrübt. Im übrigen unterscheiden sie sich jedoch nicht unwesentlich. Die Varietät vom Pfandstall ist quarzarm und hornblendefrei, so dass sie sich unter dem Mikroskop nicht allzusehr von dem umgebenden feinkörnigeren olivinfreien Diabas unterscheidet.

Das Vorkommen am Pulverthurm ist dagegen quarzreich und hornblendeführend. Ausser dem mit Plagioklas mikropegmatitisch verwachsenen Quarz sind noch reichlich grössere Körner vorhanden, welche zahlreiche Apatitnadeln und wenige, aber recht grosse Flüssigkeitsporen einschliessen. Die Nadeln sind von ungewöhnlicher Länge und reichen oft nicht nur durch das ganze Korn, sondern erstrecken sich noch in die benachbarten Gemengtheile. Die Flüssigkeitsporen enthalten gelegentlich kleine Würfel und stabile Libellen von sehr verschiedener Grösse, welche nicht selten fast den ganzen

Digitized by Google

Hohlraum erfüllen. Erhitzung bis auf 100° bewirkt keinerlei Veränderung. Auch mancher Plagioklas steckt voller Interpositionen, welche ich ihren Contouren nach für Flüssigkeitseinschlüsse halte, obwohl Gasbläschen fehlen. Der Augit zeigt sowohl chloritische, als auch uralitische Umwandlung, und da er öfters in Säulenform auftritt, sowie zu ganz regelmässiger Begrenzung neigt, ist die Structur keine typisch ophitische. Zum Uralit gesellen sich noch eine braune stark pleochroitische Hornblende und eine lebhaft grüne in schilfförmigen Individuen. Letztere ist entweder mit der braunen verwachsen oder zu wirren Aggregaten vereinigt und scheint durchweg secundär zu sein, sich aber nicht aus Augit, sondern auf Kosten der braunen Hornblende gebildet zu haben, welche dort, wo sie mit jener verwachsen ist, unregelmässige, wie angenagte Formen zeigt. Die opaken, grösstentheils wie zerhackt aussehenden Erzpartien und der Plagioklas werden durch Digestion mit Salzsäure nicht merklich angegriffen. Nach der üblichen Classification würde ein Quarzproterobas vorliegen; doch dürfte man solche Gesteine vielleicht zweckmässiger als hornblendeführende Quarzdiabase bezeichnen, da primäre Hornblende in den mir bekannten Diabasen doch meist eine recht untergeordnete Rolle spielt[1].

Die von den Herren Trechmann und Ambühl ausgeführten Analysen des hornblendeführenden Quarzdiabas vom Pulverthurm bei Colesberg ergaben:

| | 8. |
|---|---|
| Kieselsäure . . . | 56.63 |
| Thonerde . . . . | 11.24 |
| Eisenoxyd . . . . | 12.66 |
| Eisenoxydul . . . | 5.20 |
| Kalk . . . . . | 6.38 |
| Magnesia . . . . | 3.15 |
| Kali . . . . . | 1.24 |
| Natron . . . . . | 3.97 |
| Wasser . . . . . | 2.08 |
| | 102.55 |

Nach dem mikroskopischen Befund und nach dem Verhalten des Plagioklas gegen Säure sollte man einen höheren Kieselsäuregehalt erwarten. Der Überschuss der Analyse

[1] In weitaus den meisten sogen. Proterobasen, welche ich mikroskopisch zu untersuchen Gelegenheit hatte, erwies sich übrigens die Hornblende als secundär.

Digitized by Google

dürfte wohl durch die Alkalien bedingt sein, welche nur von einem der Analytiker bestimmt worden sind.

Hier lässt sich in Folge seines — wenn auch geringen — Gehalts an Quarz und Hornblende ein Gestein aus der Gegend von Richmond anschliessen, welches sich aber von den zuletzt beschriebenen Quarzdiabasen durch seine Structur wesentlich unterscheidet. Makroskopisch gleicht es den Olivindiabasen von doleritischem Korn und typisch ophitischer Structur. Wenn auch die Art des Auftretens nicht ganz sicher festgestellt werden konnte, so dürfte es doch von einem Lager stammen.

Unter dem Mikroskop erweist es sich als olivinfrei; vorherrschende Bestandtheile sind Plagioklas und Augit in einer der ophitischen Structur entsprechenden Ausbildung. Die zwischen den Plagioklasleisten frei bleibenden Lücken werden aber nicht nur von Augit ausgefüllt, sondern häufig auch von trüben bräunlichen Partien mit feinen opaken Stäbchen. Im gewöhnlichen Licht haben diese Partien genau das Ansehen einer nicht individualisirten Zwischenklemmungsmasse; im polarisirten Licht erweisen sie sich jedoch als schwach, aber deutlich doppelbrechend und als büschlig-strahlig struirt mit gelegentlichen unregelmässigen Interferenzkreuzen. Die feinen opaken Stäbchen lösen sich bei der Digestion des Dünnschliffs mit Salzsäure. Die spärliche Hornblende ist braun oder olivengrün, stark pleochroitisch und mit dem Augit verwachsen. Grössere opake Körner und Krystalle gehören theils dem Magnetit, theils dem Eisenkies an, und diese beiden Erze sind öfters mit einander verwachsen.

Petrographisch würde das vorliegende Gestein als Quarz und Hornblende führender Diabasporphyrit zu bezeichnen sein, da die büschlig-strahligen, wahrscheinlich aus Feldspath bestehenden Partien ganz die Rolle einer feinkrystallinischen Grundmasse spielen, d. h. einen nach Ausbildung der deutlich individualisirten Gemengtheile erstarrten Rest des Magma darzustellen scheinen. Geologisch dürfte dieser Diabasporphyrit den übrigen Lagerdiabasen gleichwerthig sein.

Einen ganz eigenartigen Habitus zeigt schliesslich ein Plagioklas-Augit-Gestein, welches bei Botha's Drift am Oranje — zwischen Philipolis und Colesberg — in mächtigen, den Fluss

Digitized by Google

stark einengenden Felsen ansteht. Dasselbe ist von ziemlich grobem doleritischen Korn, so dass man die Bestandtheile — Plagioklasleisten, Augit, Apatitnadeln, Erzkörner und reichliche bis erbsengrosse, feinkörnige, stellenweise fast felsitisch aussehende Partien — theils mit unbewaffnetem Auge, theils mit der Lupe deutlich erkennt. Die letztgenannten Partien geben dem ganzen Gestein eine charakteristische grünlichgraue Färbung und ein von den übrigen Gliedern der Karrooformation durchaus abweichendes Ansehen.

Im Dünnschliff erweist sich ein Theil des Plagioklas saussuritartig verändert, während die wasserklaren Leisten eine grosse Auslöschungsschiefe besitzen und von concentrirter Salzsäure mit Ausnahme weniger schmaler Lamellen vollständig zersetzt werden. Der Augit zeigt meist regelmässige Begrenzung, recht häufig Zwillingsbildung, schwachen, aber deutlichen Pleochroismus und beginnende chloritische Zersetzung. Besonders in den peripherischen Theilen der Krystalle scharen sich nicht selten Hohlräume in grösserer Zahl, welche Gasporen zu sein scheinen. Die grossen Erzpartien sind leistenförmig begrenzt, zuweilen wie zerhackt und von Säure schwer angreifbar, so dass man sie als Titaneisen deuten muss. Nahezu die Hälfte des Gesteins mögen die erwähnten feinkörnigen bis dichten Partien ausmachen, welche sich unter dem Mikroskop wie eine Art Zwischenklemmungsmasse darstellen. Bei starker Vergrösserung erkennt man — besonders gut nach nicht zu langem Ätzen mit Salzsäure — dass sie vorzugsweise aus kleinen Leisten von Plagioklas bestehen in meist regelloser, zuweilen auch unvollkommen büschliger Anordnung; hinzu gesellen sich kleine Körner von Quarz und spärlichem Augit, reichlich zierliche Apatitsäulen und Körner oder Stäbchen von Magnetit, zu Wachsthumsformen aneinander gereiht und leicht in Salzsäure löslich. Man wird das Gestein wie das vorige als einen Diabasporphyrit bezeichnen können, in welchem die feinkörnige Grundmasse so zurücktritt, dass sie wie eine Zwischenklemmungsmasse zwischen den grösseren Krystallen liegt.

Digitized by Google

Eine von Herrn Feder ausgeführte Analyse ergab:

| | 9. |
|---|---|
| Kieselsäure . . . | 55.25 |
| Thonerde . . . . | 12.12 |
| Eisenoxyd . . . . | 8.84 |
| Eisenoxydul . . . | 4.91 |
| Kalk . . . . . | 8.34 |
| Magnesia . . . . | 4.84 |
| Kali . . . . . | 1.62 |
| Natron . . . . . | 2.08 |
| Wasser . . . . . | 1.65 |
| | 99.65 |

Die Zusammensetzung steht derjenigen der grobkörnigen Ausscheidungen von Colesberg nahe (Analyse 8), und die Gesteine liegen auch räumlich nicht weit von einander entfernt.

Die vielfach einzeln beschriebenen Varietäten der Lagerdiabase könnten den Eindruck erwecken, als seien letztere von recht wechselnder Ausbildung. Dies ist jedoch keineswegs der Fall; im Gegentheil ist dieselbe im allgemeinen sehr gleichförmig, da die zuerst beschriebenen Olivindiabase in grosser Zahl und gleichmässig durch die ganze mittlere Karrooformation verbreitet vorkommen, die übrigen Diabase nur je einen oder einige wenige Vertreter besitzen. Hinzu kommt noch, dass manche der letzteren nur eine Randfacies repräsentiren, andere höchst wahrscheinlich nur Ausscheidungen sind, also keine selbständigen Gesteinskörper bilden. Dies dürfte bei den olivinfreien Diabasen häufiger der Fall sein, als mit Sicherheit nachgewiesen werden konnte.

### Gangförmige Plagioklas-Augit-Gesteine.

Während die lagerförmigen Plagioklas-Augit-Gesteine ganz vorherrschend eine ophitisch-körnige Structur zeigen, kommt bei den gangförmigen ausschliesslich porphyrische Structur vor, und zwar derart, dass mit einer Ausnahme die Grundmasse durchaus krystallin ist.

Solche basisfreien Porphyrite verhalten sich zu den körnigen Diabasen, wie die Granitporphyre zu den Graniten, die Syenitporphyre zu den Syeniten, und man kann sie daher entsprechend als Diabasporphyrite und Olivindiabasporphyrite bezeichnen, je nachdem Olivin vorhanden ist oder nicht. Unter den gangförmigen Plagioklas-Augit-Gesteinen der Karrooformation ist jedoch nur die olivinführende Abtheilung vertreten.

Digitized by Google

Es sind alles im Vergleich mit den Lagerdiabasen feinkörnige und dunkle, vereinzelt auch dichte Gesteine. Häufig treten Plagioklasleisten, zuweilen auch Olivinkrystalle schon makroskopisch hervor; doch erreichen beide Mineralien nie grössere Dimensionen, so dass es öfters einer Betrachtung mit der Lupe bedarf, um sie wahrzunehmen.

Eine Veränderung gegen das Salband wurde an einem bei der Colesberger Ziegelhütte im Sandstein aufsetzenden, etwa ein Meter mächtigen Gang beobachtet. Das Salband erwies sich feinkörniger und reicher an Einsprenglingen als die Gangmitte.

Sehen wir von den Einsprenglingen ab, so ist mit Ausnahme eines Vorkommens für alle das Auftreten des Augit in Körnern oder in Säulchen charakteristisch, welche zusammen mit Plagioklasleisten die Grundmasse bilden; wo zwischen letzteren grössere Lücken übrig bleiben, werden sie durch Aggregate von Augitkörnern, nicht durch Augitindividuen wie bei der ophitischen Structur ausgefüllt. Ferner sind die porphyrischen Diabase in der Regel erheblich reicher an opaken Erzen als die körnigen, und die Erze treten in kleineren Individuen und in gleichmässigerer Vertheilung auf. Besonders in den dichten Varietäten erfüllen sie öfters die ganze Grundmasse wie mit einem feinen Staub. Sie bestehen vorherrschend aus Magnetit, zuweilen auch aus Titaneisen, soweit man nach der Stäbchenform und nach der Unlöslichkeit in Salzsäure schliessen kann. Dass bei den häufigen winzigen Dimensionen nicht alles, was im Dünnschliff durch Salzsäure ungelöst bleibt, Titaneisen ist, dürfte selbstverständlich sein, da oft Körnchen durch Augit oder Plagioklas geschützt bleiben müssen. Wo Eisenkies diese Erze begleitet, bildet er grössere Körner und Krystalle, welche sich meist schon unter der Lupe deutlich bemerkbar machen. Zu staubförmigen oder überhaupt sehr winzigen Dimensionen scheint Eisenkies in massigen Gesteinen selten herabzusinken.

Auch mikroporphyrisch sind gewöhnlich nur Plagioklas und Olivin vorhanden, sehr selten tritt noch Augit hinzu. Der Olivin ist in der Regel krystallographisch begrenzt und theils frisch, theils in serpentinartige Producte oder in Carbonate umgewandelt. Dabei pflegt je nur die eine Art der Umwand-



Digitized by Google

lung vorzukommen oder wenigstens in hohem Grade vorzuherrschen. Die Carbonate erwiesen sich durch Prüfung des Dünnschliffs mit Link'scher Lösung als Calcit[1]. Der Serpentin ist bald grün, bald morgenroth oder gelb bis gelbbraun, woraus wohl kaum auf verschiedenen Eisengehalt, sondern eher auf einen etwas abweichenden Verlauf der Umwandlung zu schliessen ist. Ob vereinzelt auch Olivin in der Grundmasse vorkommt, konnte nicht ganz sicher festgestellt werden, da die fraglichen Körner ganz zersetzt sind und jeglicher regelmässigen Begrenzung entbehren.

Die Plagioklase verhalten sich im allgemeinen im Dünnschliff gegen Salzsäure, wie in dem oben beschriebenen porphyrisch ausgebildeten Lagerdiabas: Einsprenglinge sind weniger polysynthetisch und werden nicht nur schneller, sondern auch vollständiger zersetzt, als die kleinen Leisten in der Grundmasse, von denen viele überhaupt nicht angegriffen werden; auch hier ist die zur Zersetzung erforderliche Zeit in den verschiedenen Gesteinen eine immerhin recht verschiedene. Wenn auch die grossen Krystalle auf Sprüngen und Spaltungsdurchgängen eine grössere Angriffsfläche darbieten, so scheinen doch unzweifelhaft auch unabhängig hiervon die Plagioklase der Grundmasse erheblich widerstandsfähiger, also wohl saurer zu sein.

Einem Theil der Porphyrite fehlt Biotit ganz; in anderen ist er sehr reichlich vertreten in Form kleiner Blättchen, welche recht regelmässig in der Grundmasse vertheilt sind, und zwar hier nicht mit opaken Erzen verwachsen. Als Einsprengling kommt Biotit nie vor. Hornblende und Quarz wurden nirgends beobachtet.

Wenn auch ein grosser Theil der Gangdiabase noch fast vollständig frisch ist, so sind doch manche stärker verändert, als es durchschnittlich bei den Lagerdiabasen der Fall ist, und es treten daher gelegentlich chloritische Substanzen recht reichlich auf. Stets beschränkt sich jedoch die Veränderung auf Olivin und Augit.

Obwohl die Olivindiabasporphyrite sich ihren allgemeinen Eigenschaften nach als einheitliche Gruppe darstellen, so

[1] Vgl. dies. Jahrb. 1883. II.

Digitized by Google

zeigen sie doch in der feineren Structur der Grundmasse recht charakteristische Eigenthümlichkeiten.

Eine grössere Abtheilung ist dadurch ausgezeichnet, dass die Plagioklasleisten in der Grundmasse sehr lang und schmal sind, sowie verhältnissmässig bedeutende Lücken zwischen sich lassen; dass ferner ein fein struirtes Aggregat zahlreicher Körnchen und Säulchen von Augit mit winzigen Magnetitkryställchen jene ausfüllt. Bei sehr feinem Korn herrschen Augitkörner vor, bei weniger feinem Säulchen, welche zu paralleler oder büschliger Anordnung neigen. Manche Vertreter dieser Abtheilung zeichnen sich durch ungewöhnlich starken Gehalt an Olivin aus, welcher grosse Picotite beherbergt. Nur in einem Vertreter ist der Olivingehalt sehr gering; dafür stellt sich aber reichlich vollständig frischer Augit als Einsprengling ein. Glimmer ist bald vorhanden, und zwar zum Theil in grosser Menge, bald fehlt er. Zuweilen sind viele Plagioklase — besonders kleine, aber auch grosse — rahmenförmig oder gitterförmig ausgebildet mit Ausfüllung der Lücken durch Augitkörner allein, oder durch Augit und Magnetit. Es scheint mir daraus hervorzugehen, dass gelegentlich ein Theil des Augit sich gleichzeitig mit den grösseren Plagioklasen ausgeschieden hat, aber nicht in grossen Individuen, sondern in Aggregaten kleiner Körner, während in der Regel die porphyrischen Plagioklase ganz frei von Augiteinschlüssen sind. Dass Magma umhüllt wurde, welches später krystallinisch erstarrte, erscheint höchst unwahrscheinlich, da sonst wohl auch Plagioklas oder glasige Basis vorkommen würde. Besonders charakteristisch ist das zerhackte Aussehen, welches die Grundmasse durch die schmalen und langen, richtungslos angeordneten Plagioklasleisten erhält.

Die Vertreter dieser Abtheilung bilden Gänge im Olivindiabas (Philipolis, Oranje Freistaat) und in Schiefern (mehrfach zwischen Douglas und Sihunal auf dem rechten Ufer des Vaalflusses). Ferner fand ich zwischen den Schiefern, welche die Diamantgruben von New Rush (Kimberley) begrenzen, ein dichtes, basaltähnliches Gestein mit genau der gleichen Structur, so dass wahrscheinlich ein Gang vorliegt, wenn dies auch in Folge des wenig günstigen Aufschlusses nicht sicher beobachtet werden konnte.



Digitized by Google

Herr Liepmann hat den unweit Philipolis im Olivindiabas aufsetzenden Gang analysirt, der einen besonders frischen und typischen Porphyrit mit der oben beschriebenen Structur repräsentirt. Plagioklas, Augit und die meisten der in mässiger Menge vorhandenen Olivine sind von idealer Frische; nur einige wenige der letzteren zeigen Umwandlung in Serpentin. Die langen und schmalen Plagioklasleisten in der Grundmasse treten hier besonders scharf hervor; Biotit fehlt; Plagioklase mit lückenhaftem Wachsthum schliessen Aggregate von Augit und Magnetit ein.

| | 10. |
|---|---|
| Kieselsäure . . . | 49.50 |
| Thonerde . . . . | 14.89 |
| Eisenoxyd . . . . | 5.93 |
| Eisenoxydul . . . | 6.42 |
| Kalk . . . . . | 12.45 |
| Magnesia . . . . | 6.73 |
| Kali . . . . . | 0.56 |
| Natron . . . . . | 1.68 |
| Wasser[1] . . . . | 2.84 |
| | 101.00 |

In einer zweiten Gruppe, welche am verbreitetsten ist, setzt sich die Grundmasse aus kürzeren Plagioklasleisten und grösseren Augitkörnern derart zusammen, dass letztere einzeln liegen, oder nur wenige sich scharen. Beide Hauptgemengtheile sind daher ziemlich gleichmässig vertheilt. Gelegentlich zeigen die Augite auch wohl regelmässige Begrenzung. Biotit fehlt hier gänzlich. Das recht reichlich vertretene Erz ist in erheblich grösseren Individuen vorhanden. Olivin und Plagioklas bilden Einsprenglinge; ersterer ist meist vollständig zersetzt, und zwar in der Regel in Serpentin, sehr selten in Calcit. Ein Vertreter dieser Structurform, welcher schon oben wegen der Veränderung gegen das Salband erwähnt wurde, setzt im Sandstein auf; die übrigen bilden Gänge im normalen Olivindiabas, vorzugsweise in der Gegend von Colesberg, ferner bei Magerfontein in Griqualand West und bei Badfontein unweit Murraysburg. Im ganzen ist das Korn weniger fein, als bei der zuletzt beschriebenen Gruppe.

Den am Colesberger Pulverthurm im normalen Olivindiabas aufsetzenden Gang hat Herr A. Bernthsen analysirt.

[1] Der hohe Wassergehalt erklärt sich wohl dadurch, dass das Pulver lufttrocken analysirt wurde anstatt nach dem Trocknen bei 105°.

Digitized by Google

Durch Salzsäure leicht zersetzbarer Plagioklas und in Serpentin umgewandelte Olivine bilden Einsprenglinge. Der sich auf die Grundmasse beschränkende Augit ist zumeist frisch; die kleinen Plagioklasleisten in derselben werden durch Salzsäure zum Theil schwierig zersetzt, zum Theil gar nicht.

| | 11. |
|---|---|
| Kieselsäure . . . | 52.22 |
| Thonerde . . . . | 10.66 |
| Eisenoxyd . . . . | 9.39 |
| Eisenoxydul . . . | 5.15 |
| Kalk . . . . . | 11.27 |
| Magnesia . . . . | 6.64 |
| Kali . . . . . | 0.51 |
| Natron . . . . . | 2.34 |
| Wasser . . . . . | 1.98 |
| | 100.16 |

Hier würden sich zwei in der nächsten Umgebung von Colesberg im Diabas aufsetzende Gänge anschliessen lassen. In dem einen von anämesitischem Korn zeigt die Grundmasse im wesentlichen ophitische Structur, so dass der Porphyrit sich nur durch die grossen mikroporphyrisch hervortretenden Plagioklase von einem normalen feinkörnigen Olivindiabas unterscheidet, da der zwar reichlich vorhandene, aber ganz serpentinisirte Olivin sich wenig scharf hervorhebt.

In dem anderen, etwa $\frac{1}{2}$ m. mächtigen Gang mit vollkommen dichter Structur, welcher den oben beschriebenen Quarzdiabas vom Pfandstall bei Colesberg durchsetzt, ist die äusserst fein struirte Grundmasse ein wirres Aggregat kleinster Augitkörnchen und winziger Plagioklasleisten mit feinem opaken Staub. Glimmer fehlt; Plagioklas und Olivin treten mit grosser Schärfe mikroporphyrisch hervor. Alle Gemengtheile mit Ausnahme des serpentinisirten Olivin sind vollkommen frisch.

Eine Analyse dieses dichten Gesteins wurde von Herrn Wetzig ausgeführt und lieferte die folgenden Zahlen:

| | 12. |
|---|---|
| Kieselsäure . . . | 50.17 |
| Thonerde . . . . | 15.83 |
| Eisenoxyd . . . . | 9.32 |
| Eisenoxydul . . . | 4.87 |
| Kalk . . . . . | 9.34 |
| Magnesia . . . . | 7.21 |
| Kali . . . . . | 0.71 |
| Natron . . . . . | 3.00 |
| Wasser . . . . . | 0.74 |
| | 101.19 |

Digitized by Google

Auch unter den gangförmigen Plagioklas-Augit-Gesteinen zeigt ein Vorkommen aus der Gegend von Richmond eine analoge Structur, wie sie aus der gleichen Gegend und von Botha's Drift am Oranje bei den Lagerdiabasen beschrieben wurde[1]. Etwa die Hälfte des dunkel grauschwarzen Gesteins von anamesitischem Korn besteht aus Plagioklasleisten, Augitkrystallen — in der Regel lang säulenförmig, nur untergeordnet in Körnerform — und aus vollständig in Serpentin umgewandelten Olivinen von fast ausnahmslos unregelmässiger Gestalt. Der Olivin und einzelne Plagioklase treten durch grössere Dimensionen etwas hervor, ohne aber eine eigentliche Porphyrstructur zu erzeugen. Solche Plagioklase werden durch Salzsäure im Dünnschliff leicht und vollständig zersetzt, von den kleineren manche gar nicht, andere nur in eizelnen Lamellen.

Die zweite Hälfte des Gesteins bilden sehr fein struirte isolirte Partien, gleich einer Zwischenklemmungsmasse von den übrigen Gemengtheilen eingeschlossen. Im Dünnschliff erscheinen sie fast schwarz gefärbt, da alle vorhandenen Eisenerze theils in Form dicht gedrängter, staubförmiger Partikel, theils in vereinzelten grösseren Körnern — dann zumeist Eisenkies — hier angehäuft sind. Nur die dünnsten Stellen der Präparate gestatten eine Untersuchung mit starker Vergrösserung. Man nimmt dann wahr, dass diese fein struirten Partien, abgesehen vom Erz, aus lichten doppelbrechenden Körnchen bestehen, deren Natur nicht ermittelt werden konnte. Zwischengeklemmte isotrope Basis, welche man nach der Structur erwarten könnte, war nicht nachweisbar. Die feinen Erzkörnchen lösen sich zwar in Salzsäure, aber die Partien werden gleichzeitig trüb, lassen sich also an geätzten Schliffen nicht näher studiren. Aus den schon bei den Lagerdiabasen angeführten Gründen erscheint es mir am zutreffendsten, auch dies Gestein als Olivindiabasporphyrit zu bezeichnen.

Das Mittel zweier von den Herren Reincke und Reuling ausgeführten Analysen ergibt:

---

[1] S. S. 237—239.

Digitized by Google

| | 13. |
|---|---|
| Kieselsäure . . . | 53.04 |
| Thonerde . . . . | 12.45 |
| Eisenoxyd . . . . | 9.60 |
| Eisenoxydul . . . | 3.35 |
| Kalk . . . . . | 10.23 |
| Magnesia . . . . | 6.07 |
| Kali . . . . . | 0.25 |
| Natron . . . . . | 5.36 |
| Wasser . . . . . | 2.27 |
| | 102.62 |

Beide sehr gut übereinstimmenden Analysen ergaben auffallenderweise den gleichen Überschuss, welcher wohl auf Rechnung der Kieselsäure und der Alkalien kommen dürfte, da sonst die Zusammensetzung von derjenigen der übrigen Plagioklas-Augit-Gesteine nicht wesentlich abweicht.

Alle bisher beschriebenen Eruptivgesteine der unteren und mittleren Karrooformation stimmen in der holokrystallinen Entwickelung überein; eine Ausnahme bildet nur ein dichtes, basaltähnliches Gestein mit kleinen Einsprenglingen von Plagioklas, Augit und Olivin, welches bei der Colesberger Quelle Sandstein durchsetzt und letzteren am Contact verändert hat, obwohl der Gang von sehr geringer Mächtigkeit ist.

Unter dem Mikroskop zerlegt sich die stark vorherrschende Grundmasse in Plagioklasleisten, Körner und Säulchen von Augit, Biotitblättchen, Magnetit und wasserklare, unregelmässig begrenzte Partien, alle frisch und von winzigen Dimensionen. Biotit und Magnetit sind reichlich vertreten, und ersterer bildet erheblich grössere Tafeln, als in irgend einem anderen der hier beschriebenen Plagioklas-Augit-Gesteine; beide sind auch recht gleichmässig vertheilt. Da die farblosen Partien zuweilen schwach doppelbrechend sind, so wurde sehr sorgfältig auf Nephelin geprüft, aber mit negativem Resultat; ich kann dieselben daher nur als glasige Basis deuten. Die spärlichen Einsprenglinge von fast farblosem Augit, Plagioklas und Olivin sind meist knäuelförmig mit einander verwachsen. Letzterer ist vollständig in ein feinfaseriges glimmerartiges Mineral umgewandelt, welches den Fasern parallel auslöscht, lebhafte Interferenzfarben zeigt und von heisser Salzsäure nicht angegriffen wird, während die opaken Erze sich voll-

Digitized by Google

ständig lösen, und die Basis sich stark trübt. Die Plagioklase verhalten sich wie gewöhnlich.

Nach der üblichen Classification wäre das vorliegende Gestein als Melaphyr zu bezeichnen, obwohl es geologisch sicherlich den übrigen gangförmig auftretenden Plagioklas-Augit-Gesteinen gleichwerthig ist, welche alle, wie wir gesehen haben, zu den Olivindiabasporphyriten gehören.

Zum Schluss mögen noch die bisher angeführten Analysen zusammengestellt werden, um den Vergleich zu erleichtern (s. S. 249):

Sieht man zunächst von den drei ersten Analysen olivinfreier Diabase ab, so ergibt sich für die übrigen eine bemerkenswerthe Übereinstimmung, welche höchst wahrscheinlich noch grösser sein würde, wenn ein Analytiker alle Untersuchungen ausgeführt hätte, was eigentlich der Fall sein sollte, wenn man Gesteine mit einander vergleichen will. Diese Übereinstimmung findet ihren besten Ausdruck im Gehalt an Alkalien und alkalischen Erden, und dürfte besonders die durchweg sehr geringe Menge von Kali als charakteristisch für die ganze Reihe hervorzuheben sein. Da die Zusammensetzung augenscheinlich in keiner Beziehung zur Structur und Lagerungsform steht, so liegt nach den analytischen Daten der Schluss nahe, dass Lager und Gänge ein und dasselbe Magma geliefert habe, welches je nach den Erstarrungsbedingungen sich bald körnig, bald porphyrisch entwickelte. Auch die Zusammensetzung des olivinfreien Diabas (Analyse 7) ist, abgesehen vom etwas höheren Kaliumgehalt, eine den Olivindiabasen so analoge, dass man auch ihn wohl auf das gleiche Magma zurückführen kann unter der Annahme, es habe sich statt des Olivin ein magnesiumreicherer Augit und wahrscheinlich auch ein Plagioklas von etwas abweichender Zusammensetzung ausgeschieden.

Nur die beiden quarzführenden Plagioklas-Augit-Gesteine zeigen im Vergleich mit den übrigen Analysen erhebliche Unterschiede, welche besonders im höheren Gehalt an Kieselsäure, im niedrigeren an alkalischen Erden bestehen. Es dürfte trotzdem nicht gerade nothwendig sein, für diese meist sehr untergeordnet vorkommenden Gesteine selbständige Eruptionen eines ursprünglich anders zusammengesetzten Magma anzu-

Digitized by Google

## Plagioklas-Augit-Gesteine.

| | lagerförmig | | | | | | | | | gangförmig | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Diabas-porphyrit | Quarz-diabas | Diabas | Olivindiabas | | | | | | Olivindiabasporphyrit | | | |
| | 9 | 8 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Kieselsäure . . . | 55.25 | 56.63 | 53.09 | 52.7 | 52.67 | 51.68 | 51.82 | 51.75 | 52.44 | 49.50 | 52.22 | 50.17 | 53.04 |
| Thonerde . . . . | 12.12 | 11.24 | 10.87 | 11.4 | 10.62 | 13.88 | 13.55 | 14.67 | 12.16 | 14.89 | 10.66 | 15.83 | 12.45 |
| Eisenoxyd . . . . | 8.84 | 12.66 | 8.03 | 9.0 | 10.43 | 6.59 | 10.07 | 6.27 | } 13.79 | 5.93 | 9.39 | 9.32 | 9.60 |
| Eisenoxydul . . . | 4.91 | 5.20 | 3.87 | 3.7 | 4.21 | 4.44 | 2.85 | 4.73 | | 6.42 | 5.15 | 4.87 | 3.35 |
| Kalk . . . . . | 8.34 | 6.38 | 9.63 | 11.6 | 11.70 | 10.99 | 10.86 | 11.94 | 10.46 | 12.45 | 11.27 | 9.34 | 10.23 |
| Magnesia . . . . | 4.84 | 3.15 | 8.85 | 7.4 | 7.04 | 7.87 | 7.35 | 5.19 | 7.40 | 6.73 | 6.64 | 7.21 | 6.07 |
| Kali . . . . . | 1.62 | 1.24 | 1.57 | 0.7 | 0.65 | 0.81 | 0.23 | 0.58 | 0.49 | 0.56 | 0.51 | 0.71 | 0.25 |
| Natron . . . . . | 2.08 | 3.97 | 3.23 | 2.3 | 2.19 | 2.93 | 2.52 | 2.70 | 1.90 | 1.68 | 2.34 | 3.00 | 5.36 |
| Wasser . . . . . | 1.65 | 2.08 | 1.13 | 1.4 | 0.38 | 0.74 | 1.40 | 1.86 | 1.89 | 2.84 | 1.98 | 0.74 | 2.27 |
| | 99.65 | 102.55 | 100.27 | 100.2 | 99.89 | 99.93 | 100.65 | 99.69 | 100.54 | 101.00 | 100.16 | 101.19 | 102.62 |

Digitized by Google

nehmen. Es können hier etwas spätere Nachschübe vorliegen, welche ein saureres Material förderten, nachdem zuerst gleichsam basischere Schlieren gebildet und zur Eruption gelangt waren. Thatsächlich treten auch die quarzführenden Diabase mit wenig scharfen Grenzen (soweit solche beobachtet wurden) gegen die benachbarten Olivindiabase auf, wie es der Fall sein wird, wenn Contractionsspalten ausgefüllt werden, bevor das Nebengestein vollständig erstarrt ist. Ich denke mir die Vorgänge ähnlich denjenigen, welche wohl zuerst von Benecke und mir für das Granitgebirge im südlichen Odenwald angenommen wurden[1].

Ich habe schon oben erwähnt, dass mir aus der ganzen Karrooformation (abgesehen von den hier nicht mit berücksichtigten Einschlüssen im diamantführenden Boden) nur ein massiges Gestein bekannt geworden ist, welches nicht zu den Plagioklas-Augit-Gesteinen gehört. Dasselbe wurde in der nächsten Umgebung von Richmond beobachtet und schien gangförmig im normalen Olivindiabas aufzutreten; doch liess sich die Art des Vorkommens nicht mit genügender Sicherheit feststellen.

Das Gestein ist von gleichmässig lichtgrauer Färbung und von feinem Korn; mit scharfer Lupe erkennt man vorzugsweise Feldspath, daneben einen basischen Gemengtheil und Erzkörnchen. Auch nach dem Resultat der mikroskopischen Untersuchung ist trüber Feldspath weitaus vorherrschender Gemengtheil, und zwar scheint Orthoklas erheblich zu überwiegen. Der zweite Hauptbestandtheil ist ein stark chloritisirter Glimmer. Quarz tritt in doppelter Weise auf: in grösseren, zu Gruppen vereinigten Körnern und in zierlicher mikropegmatitischer Verwachsung mit Feldspath. Die in nicht unbedeutender Menge vorhandenen Erzstäbchen werden im Dünnschliff von Salzsäure nicht gelöst. Titanit kommt in vereinzelten grossen Krystallen vor, Apatit in kleinen Säulen. Da die grösseren Quarzkörner vermiculitähnliche Chloritaggregate einschliessen und fast oder ganz frei von Flüssigkeitsporen sind, so dürften sie secundärer Entstehung sein.

[1] Geognostische Beschreibung der Umgegend von Heidelberg. Heft I: Das Grundgebirge. p. 37.

Digitized by Google

Nach dem mikroskopischen Befund würde ein Glimmersyenit vorliegen, dem aber jegliche Annäherung an den Habitus der Minetten fehlt. Sollte er in der That die wahrscheinlich triadischen Olivindiabase gangförmig durchsetzen, so würde das Vorkommen ein recht bemerkenswerthes sein.

### Diabascontact.

An vielen Punkten, wo Lagerdiabase auftreten, beobachtet man in deren Nähe Brocken eines vollständig dichten, schwarzen, im grossen muschlig, im kleinen splittrig brechenden, durchaus lyditähnlichen Gesteins, welches nirgends als normale der Karrooformation eingeschaltete Schicht vorkommt. Obwohl ich nicht daran zweifelte, dass ein Contactproduct des Diabas vorliege, so gelang es mir doch nicht, auf dem Wege von Capstadt nach den Diamantfeldern das Gestein anstehend zu beobachten. Die Gehänge der Berge waren derart mit losen Schuttmassen bedeckt, dass die kurze, während der Reise je zur Verfügung stehende Zeit nicht zu einer genügend sorgfältigen Untersuchung ausreichte.

Erst beim Besuch einer in nächster Nähe von Fauresmith im Oranje Freistaat gelegenen Gruppe von Tafelbergen, deren hervorragendster den Namen Vollkranz trägt, gelang es mir, mit Sicherheit die Richtigkeit meiner Annahme festzustellen. Wenn ich auch später vielfach Gelegenheit hatte, die Beobachtung zu wiederholen, dass die lyditähnlichen Gesteine nur im unmittelbaren Contact mit Diabas auftreten, so habe ich doch niemals wieder ein so gut aufgeschlossenes Profil wie bei Fauresmith gefunden, welches gestattete, die allmählichen Übergänge von der Diabasgrenze bis zum unveränderten Sediment schrittweise zu verfolgen. Es mag daher dieses Profil, von welchem Tafel IX Figur 1 eine Skizze gibt, zunächst ausführlich beschrieben werden.

An der Haupterhebung, dem eigentlichen Vollkranz (A im Profil), ergaben sich von unten nach oben die folgenden Lagen. Die Mächtigkeit der Hauptschichtencomplexe wurde nach den Aneroidablesungen an den Grenzen berechnet, kann also keinen Anspruch auf allzu grosse Genauigkeit machen.

1. Aschgraue und graulichviolette dünnschiefrige Schieferthone, leicht in flach knollenförmige Stücke zerfallend,

Digitized by Google

ähnlich wie es für Keupermergel charakteristisch ist (ca. 90 m.).

2. Sandige Schiefer mit schwach wulstigen Absonderungsflächen und discordanter Parallelstructur, welche in aschgraue, dunkelgrau gebänderte oder geflammte, thonige Sandsteinschiefer übergehen. Sie fallen mit steilerem Gehänge ab, als die liegenden Schieferthone (ca. 25 m.).

   Eckige Quarzkörner und trübe flockige Partien, welche wohl als thonartige Substanzen zu deuten sind, betheiligen sich etwa zu gleichen Theilen an der Zusammensetzung. Recht reichlich sind lichte Glimmerblättchen vertreten, spärlich dunkler Glimmer mit deutlicher Absorption und chloritische Substanzen. Die graue Färbung des Gesteins wird nur zum geringeren Theil durch in Salzsäure lösliche Erzkörner, vorzugsweise durch kohlige Partikel bedingt. In vereinzelten Körnern und Kryställchen sind noch Epidot, Zirkon und Turmalin vorhanden.
3. Mächtige, quaderförmig abgesonderte Bänke eines festen graulichgelben Sandsteins mit senkrechtem Abfall, zu bizarren Formen verwitternd und einen über die liegenden Schichten hervorragenden „Kranz" bildend.
4. Sandige Schiefer wie 2 mit Einlagerungen wenig mächtiger Sandsteinbänke, den unter 3 beschriebenen gleich. (3 und 4 zusammen ca. 60 m.).
5. Diabashornfels.
6. Olivindiabas (5 und 6 ca. 20 m.).

Die Contactregion war hier nicht genügend aufgeschlossen, um die allmählichen Übergänge in das unveränderte Gestein zu beobachten. Vollständig gelang dies an einem niedrigeren Tafelberg, der durch eine kleine Mulde vom Vollkranz getrennt ist (B im Profil).

I. Auf dem Gipfel des Hügels steht noch unverändertes Gestein in einer nicht sehr mächtigen Bank an. Es ist ein ochergelber, unvollkommen schiefriger, beim Anhauchen stark thonig riechender Sandstein von gleichmässigem und so feinem Korn, dass man selbst mit starker Lupe einzelne Quarzkörner nicht wahrnehmen kann. Die Bezeichnung „sandiger Schiefer" würde daher vielleicht zutreffender sein. Nach dem Wegätzen fein vertheilter Hydroxyde erkennt man, dass kleine Körner

Digitized by Google

und Splitter von Quarz und winzige, stark doppelbrechende, farblose Glimmerblättchen die Hauptmasse bilden mit wenigen grösseren Quarzkörnern. Hinzu kommen die erwähnten Hydroxyde, unregelmässig vertheilte opake Körner und trübe flockige Partien, deren Natur sich nicht näher bestimmen lässt: alles Bestandtheile, welche durch Salzsäure gelöst oder zersetzt werden.

II. Gegen das Liegende nimmt dieser Sandstein eine grünlichgraue Farbe an, die Schieferung wird undeutlich und verschwindet ganz. Diese Lage unterscheidet sich unter dem Mikroskop von der oberen durch reichlicheres Auftreten grösserer Fragmente, unter denen auch Feldspathe deutlich zu erkennen sind; besonders aber dadurch, dass Blättchen oder dichte Aggregate eines grünlichen, deutlich pleochroitischen und ziemlich lebhaft doppelbrechenden, chloritartigen Minerals sich in erheblicher Menge einstellen. Das Auftreten des letzteren glaube ich schon als eine schwache Beeinflussung durch den Diabas auffassen zu sollen, während die grössere Zahl gröberer Fragmente, sowie verhältnissmässig grosse Zirkone und einige Turmaline darauf deuten, dass die Schicht auch ursprünglich etwas verschieden von der zuerst beschriebenen ausgebildet war. Das specifische Gewicht von I wurde zu 2.648, dasjenige von II zu 2.697 bestimmt.

III. Deutlicher treten Veränderungen in dem Hangenden der nächst folgenden Zone hervor. Das grau und braun gebänderte oder geflammte Gestein ist dichter und härter, der Bruch beginnt im grossen muschlig zu werden, während er im kleinen noch uneben ist, wie der eines sehr feinkörnigen Sandsteins. Dünne Scherben sind schon recht scharfkantig, aber am Rande kaum durchscheinend. Unter dem Mikroskop bestehen die Veränderungen darin, dass die chloritischen Blättchen, welche einen nur schwachen, aber deutlichen Pleochroismus zeigen, gleichmässig vertheilt sind, während sich winzige Blättchen eines braunen Minerals fleckenweise und streifenweise zu dichten Aggregaten angehäuft haben. Ich halte dasselbe für Magnesiaglimmer, obwohl nur einzelne erheblich grössere Leisten und Tafeln mit starker Absorption sich sicher als solcher bestimmen lassen, und diese nicht durch Übergänge mit den feinschuppigen Aggregaten verbunden sind.

Digitized by Google

Opakes Erz ist schon ziemlich gleichmässig vertheilt, tritt aber noch vorherrschend in grösseren Krystallen und Körnern auf. Die trüben flockigen Partien sind fast ganz verschwunden, und sie sind es wohl wesentlich, welche das Material zu den Neubildungen liefern. Während die unter I und II beschriebenen sandigen Schiefer einen geringen Gehalt an Carbonaten erkennen lassen, wenn man das feine Pulver mit erwärmter Salzsäure behandelt, sind letztere hier nicht mehr deutlich nachweisbar. Unter I folgt unten das Mittel aus zwei gut übereinstimmenden Analysen der Herren Waldstein und Zirnite [1].

IV. Diese Zone wird gegen den Diabas allmählich dunkler und ziemlich gleichmässig grauschwarz gefärbt, der muschlige Bruch wird vollkommener, die Bruchfläche dichter und splittriger. Im Dünnschliff macht sich kaum eine andere Veränderung merkbar, als dass die chloritischen Blättchen nicht so gleichmässig vertheilt sind, wie unmittelbar im Hangenden, sondern anfangen sich zu Häufchen zu vereinigen, wodurch auch die Quarzkörner etwas deutlicher hervortreten. Ätzt man Dünnschliffe der beiden zuletzt beschriebenen Gesteine mit Salzsäure, welche Chlorit und Biotit zerstört und die Erzkörnchen fast vollständig auflöst, so sieht man, dass hier noch, wie im unveränderten Gestein, einzelne Muscovitschüppchen und feine Quarzsplitter in grosser Zahl, sowie vereinzelte Feldspathe und Zirkone vorhanden sind. II gibt das Mittel zweier vollständig übereinstimmender Analysen der Herren Hodges und Firnhaber.

V. Im Contact mit dem Diabas — sowohl im Hangenden als im Liegenden desselben — stellen sich schliesslich in erheblicher Mächtigkeit die charakteristischen lyditähnlichen Hornfelse ein, von rein schwarzer Farbe und von ausgezeichnet muschligem Bruch mit dichten, splittrigen Bruchflächen. Die mineralogische Zusammensetzung bleibt im wesent-

[1] Die Analysen, deren Mittel hier und im folgenden gegeben wird, stimmen so gut überein, dass die Differenzen nur ausnahmsweise Bruchtheile eines Procent übersteigen. Wenn ich nicht beide neben einander aufführe, so geschieht dies, weil die Controllbestimmungen unvollständig sind; bald unterblieb die Trennung von Eisenoxyd und Eisenoxydul, bald diejenige der Alkalien.

Digitized by Google

lichen unverändert, aber alle Bestandtheile haben sich concretionsartig angehäuft. Die Biotitblättchen vereinigen sich zu ganz unregelmässig, aber recht scharf begrenzten dichten Aggregaten. In ungeheurer Zahl treten winzige staubförmige Partikel auf, ebenfalls zu rundlichen Häufchen zusammengedrängt, welche durch schmale lichte Zonen mit vereinzelten grösseren opaken Körnern getrennt werden. Diese opaken staubförmigen Gebilde mögen sich aus dem chloritischen Mineral entwickelt haben, welches nur noch spärlich vertreten ist, und sich auf vereinzelte lang gestreckte Partien beschränkt, in denen es von farblosen muscovitähnlichen Glimmerblättchen und grösseren Körnern von Quarz und opakem Erz begleitet wird. Den Biotitaggregaten fehlt letzteres ganz. Die feinen Muscovitschüppchen sind verschwunden oder wenigstens nicht mehr zu erkennen. Grössere Quarzkörner, welche in den vom Diabas entfernteren Lagen noch ziemlich reichlich vorkommen, sind nur noch sehr spärlich vorhanden; der Quarz tritt nahezu ausschliesslich als ein feines hornsteinähnliches Aggregat auf, welches in den schmalen lichten Zonen etwas gröber struirt ist, als in den rundlichen erzreicheren Partien. Wenn auch letztere Aggregatpolarisation zeigen, so löscht doch ein grosser Theil ziemlich einheitlich und gleichzeitig aus, ein anderer Theil bei anderer Lage des Präparats, so dass stets zahlreiche hellere Scheiben recht scharf hervortreten, dem mikroskopischen Bilde ein sehr charakteristisches Ansehen verleihend. Nach längerer Behandlung mit Salzsäure, wodurch sich alle opaken Bestandtheile — die grösseren Körner sowohl, als auch die feinen staubförmigen — vollständig lösen, werden diese scheibenförmigen Partien trüb, so dass es scheint, als ob hier ausser Quarz noch durch Salzsäure zersetzbare winzige Gebilde angehäuft sind, welche sich aber auch bei stärkster Vergrösserung nicht isolirt ins Auge fassen lassen. Hervorzuheben sind schliesslich noch kleine Häufchen blass grünlichgelber anisotroper Körnchen, welche durch Salzsäure zersetzt werden und in grösserer Entfernung vom Contact fehlen, falls hier nicht etwa die gleichmässiger vertheilten Chlorit- und Biotitblättchen sie verdecken. Die Zusammensetzung des Hornfels ergibt sich aus der von Fräulein von Bollmann ausgeführten Analyse III.

Digitized by Google

VI. Auf den Hornfels folgt mittelkörniger Olivindiabas, welcher sich von dem normalen Lagerdiabas der Karrooformation nur dadurch auszeichnet, dass die verhältnissmässig grossen Augite nach Art des Kinnediabas Törnebohm's zahlreiche kleine Plagioklasleisten einschliessen.

| | I. | II. | III. |
|---|---|---|---|
| Kieselsäure . . | 65.26 | 65.37 | 63.88 |
| Thonerde . . . | 15.85 | 16.87 | 17.68 |
| Eisenoxyd . . | 7.37 | 2.83 | 7.21 |
| Eisenoxydul . . | 1.12 | 3.40 | 1.05 |
| Kalk . . . . | 1.44 | 1.53 | 1.15 |
| Magnesia . . . | 2.12 | 1.85 | 2.38 |
| Kali . . . . | 1.82 | 3.23 | 1.93 |
| Natron . . . . | 1.76 | 2.16 | 1.47 |
| Wasser . . . | 3.79 | 2.74 | 1.96 |
| | 100.53 | 99.98 | 98.71 |
| Spec. Gew.[1] . . | 2.632 | 2.691 | 2.667 |

Obwohl der unveränderte Sandstein oder sandige Schiefer und der lyditähnliche Hornfels makroskopisch sich als durchaus verschiedenartige Gesteine darstellen, ist der Unterschied in der Zusammensetzung unter dem Mikroskop ein geringerer, als man erwarten sollte. Die Veränderungen bestehen der Hauptsache nach im Verschwinden der trüben Flocken, im Zurücktreten des muscovitartigen Glimmer, in der Ausbildung von Biotit, staubförmiger Erzpartikel und grünlichgelber anisotroper Körner. Chlorit reichert sich erst an und nimmt in der Diabasnähe wieder ab.

Schärfer treten dagegen die structurellen Veränderungen hervor, indem alle Bestandtheile sich concretionsartig anhäufen. So scharf, wie es gewöhnlich bei der Metamorphose von Schiefern durch Granit der Fall ist, treten diese concretionären Gebilde allerdings nicht hervor, und besonders macht sich die Structur nicht schon makroskopisch wahrnehmbar. Ferner werden sie hier um so vollkommener, je mehr man sich dem Diabas nähert, während sie beim Granitcontact in den Endgliedern der Metamorphose in der Regel wieder vollständig verschwinden.

[1] Das specifische Gewicht wurde hier, sowie im vorhergehenden und folgenden an grösseren Stücken mit Thoulet'scher Lösung und Westphal'scher Wage bestimmt.

Digitized by Google

Hervorgehoben mag noch werden, dass organische Substanz in der ganzen Reihe nicht vorkommt, und dass die grösseren Körner und Splitter von Quarz stets sehr arm an Flüssigkeitseinschlüssen sind, welche den meisten ganz fehlen. Feldspath — augenscheinlich als ursprünglicher klastischer Bestandtheil — war mit Ausnahme des lyditähnlichen Hornfels überall nachweisbar, wenn auch nur in sehr geringer Menge.

Kann man schon nach dem Resultat der mikroskopischen Untersuchung vermuthen, dass eine stoffliche Beeinflussung durch den Diabas nicht stattgefunden hat, so wird dies durch die chemische Untersuchung vollauf bestätigt. Vergleicht man die drei oben mitgetheilten Analysen, so ergeben sich Veränderungen im Procentsatz, welche mit der Annäherung an den Diabas constant im gleichen Sinne ausfallen, nur bei der Thonerde und beim Wasser. Die Schwankungen bei den meisten übrigen Bestandtheilen liegen fast innerhalb analytischer Fehler, besonders wenn man in Betracht zieht, dass jede Analyse von einem anderen Analytiker stammt. Dass Thonerde allein zugeführt sein sollte, ist bei der schweren Beweglichkeit gerade dieses chemischen Bestandtheils sicherlich nicht anzunehmen; die Differenzen sind überdies nur unbedeutend. Ein irgend wesentlicher Unterschied beschränkt sich daher auf den Wassergehalt, der mit der Annäherung an den Diabas abnimmt. Ich würde vielleicht Bedenken tragen, dieses Resultat bei der geringen Zahl von drei Analysen für mehr als einen Zufall zu halten, wenn es nicht in Übereinstimmung wäre mit den Schlüssen, welche sich aus den sonstigen vorliegenden Analysen von Diabascontact-Producten ziehen lassen. Nach dieser Richtung verhält sich also die Diabascontactzone am Vollkranz durchaus analog den Granitcontactzonen. Dass bei letzteren die Neubildung von Mineralien aus den vorhandenen Bestandtheilen eine viel intensivere und deutlicher hervortretende ist, bedarf nach obigem kaum der speciellen Hervorhebung. Es mag sich dies dadurch erklären, dass die Masse der Diabaslager geringfügig ist im Vergleich mit den mächtigen Granitstöcken, und dass die sandigen Schiefer ihrem Material nach weniger zu Neubildungen geeignet sind, als Thonschiefer. Aus den obigen drei Analysen lässt sich ferner der Schluss ziehen, dass der ganze umgewandelte Schichten-



Digitized by Google

complex im wesentlichen ursprünglich aus dem gleichen Material bestanden hat[1].

Auf einen eingehenden Vergleich mit anderen in neuerer Zeit beschriebenen Contactzonen des Diabas glaube ich verzichten zu sollen. Theils, weil aus Südafrika nur eine solche Zone genauer im Zusammenhang verfolgt werden konnte, theils, weil aus anderen Gegenden wohl zahlreiche Analysen vorliegen, aber nicht detaillirte Angaben über die mineralogische Zusammensetzung der analysirten Stücke, und es meist nicht möglich ist, genau zu erkennen, welche Stelle letztere in der Contactreihe eingenommen haben. Auch sind die vom Diabas durchbrochenen Sedimente in den bisher in Deutschland genauer untersuchten Gegenden augenscheinlich wesentlich verschieden von den hier beschriebenen. Jedenfalls aber geht besonders aus den von Kayser[2] und Schenck[3] mitgetheilten Analysen mit Sicherheit hervor:

1. dass auch im Harz und im oberen Ruhrthal mit der Annäherung an den Diabas der Wassergehalt im allgemeinen abnimmt;

2. dass abgesehen vom Wassergehalt chemisch und damit zweifellos auch mineralogisch ein wesentlicher Unterschied zwischen den Contactzonen in Deutschland und in Südafrika vorhanden ist, der sich nicht durch Verschiedenheit der durchbrochenen Sedimente erklären lässt. Während in Südafrika die chemische Zusammensetzung unabhängig ist von der grösseren oder geringeren Diabasnähe, hat an allen in Deutschland bisher untersuchten Punkten eine stoffliche Beeinflussung stattgefunden, welche in der Zunahme des Natrongehalts besonders charakteristisch und constant, in zweiter Linie auch durch Zunahme der Kieselsäure zum Ausdruck gelangt.

Es muss weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben zu entscheiden, ob der südafrikanische Diabascontact thatsäch-

---

[1] Dass es nicht vollständig der Fall war, scheint mir aus dem specifischen Gewicht hervorzugehen, welches sonst wohl eine constant auf- oder absteigende Reihe bilden müsste.

[2] Über die Contact-Metamorphose der körnigen Diabase im Harze. Zeitschrift d. deutschen geologischen Gesellschaft 1870. XXII. 103—172.

[3] Die Diabase des oberen Ruhrthals und ihre Contacterscheinungen mit dem Lenneschiefer. Inaug.-Dissert. Bonn 1884.

Digitized by Google

lich so vereinzelter Art ist, wie es nach den vorliegenden Daten der Fall zu sein scheint. Die Analogie mit dem Granitcontact ist jedenfalls in hohem Grade bemerkenswerth.

An einem zweiten kleinen Vorhügel des Vollkranzes (C im Profil) tritt ebenfalls lyditähnlicher Hornfels unmittelbar am Diabas auf, welcher einem dritten Lager angehört. Hier grenzen an den Hornfels jedoch nicht die oben beschriebenen Übergangsglieder, sondern, soweit sich ermitteln liess, direct gehärtet aussehende Sandsteine, in denen nach der mikroskopischen Untersuchung keine Spur von Concentration der glimmerartigen Mineralien oder der Erzkörner eingetreten ist. Das feinkörnige, nicht muschlig brechende, grünlichgraue, grauwackenähnliche Gestein besteht aus Quarzkörnern, recht reichlichem trüben Feldspath, sehr reichlichen bräunlichgelben glimmerartigen Mineralien und aus opaken Körnern, alle gleichmässig und regellos vertheilt. Der bald schwach, bald sehr kräftig pleochroitische Glimmer gleicht nicht dem für die Hornfelse charakteristischen. Von dem lyditähnlichen Hornfels dieser Fundstätte, der sich makroskopisch genau wie der oben beschriebene verhielt, liegt mir leider keine Probe vor.

Es gelang mir nicht, an einem zweiten Punkt eine so vollständige Reihe der Contactgesteine zu beobachten, wie am Vollkranz bei Fauresmith; doch liegen mir die Endproducte der Metamorphose von einer Anzahl anderer Fundorte vor: aus der Umgebung von Colesberg, sowie von Wolferkuil unweit Philipstown in der Capcolonie und vom Spitzkop unweit Du Toits Pan in Griqualand West.

Obwohl diese Punkte weit von einander entfernt und besonders in einem verschiedenen Niveau der mittleren Karrooformation liegen, so zeigen doch alle Hornfelse im wesentlichen grosse Ähnlichkeit unter einander. Sie sind alle von dunkler Farbe, bald rein schwarz, bald von einem etwas ins Graue gehenden Schwarz; in letzterem Falle sind sie auch nicht ganz so dicht wie sonst, und der muschlige Bruch ist etwas weniger vollkommen. Sehr charakteristisch ist eine ockerbraune Verwitterungsrinde[1], von der Bruchstücke fast aus-

[1] Auch dadurch unterscheiden sich die südafrikanischen Diabashornfelse von den aus Europa beschriebenen, für welche stets eine weisse Verwitterungsrinde als besonders charakteristisch angeführt wird.



Digitized by Google

nahmslos umgeben sind, und welche sich ausserordentlich schnell zu bilden scheint. Unter dem Mikroskop ist allen gemeinsam der sehr reichliche Gehalt an Magnesiaglimmer und dessen Scharung zu recht scharf begrenzten, aber auf das mannigfachste gestalteten Häufchen, welche im ganzen frei von Erz sind; ferner das Auftreten der oben ausführlich beschriebenen, im Dünnschliff scheibenförmig sich darstellenden fein struirten Aggregate mit annähernd einheitlicher Auslöschung. Neben diesen gemeinsamen Eigenschaften beobachtet man aber bei einigen Vorkommnissen auch Abweichungen in Structur und Zusammensetzung.

Die Hornfelse vom Spitzkop und von Wolferkuil kann man als identisch mit demjenigen vom Vollkranz bezeichnen, da nur die opaken Körnchen etwas weniger fein sind und sich — besonders am ersteren Fundort — weniger scharf scheibenförmig abgrenzen. Dem entsprechend besitzen auch die Hornfelse von Wolferkuil und vom Vollkranz nahezu die gleiche chemische Zusammensetzung und gleiches specifisches Gewicht, wie sich aus dem Vergleich der unten folgenden Analysen III und IV ergibt; nur das Verhältniss von Eisenoxyd zu Eisenoxydul ist ein wesentlich verschiedenes, was auf einem Fehler in dem einen oder anderen Fall beruhen könnte, da für die Trennung dieser beiden Bestandtheile Controllbestimmungen nicht vorliegen. Analyse III wurde schon angeführt und des leichteren Vergleichs wegen unten wiederholt; IV verdanke ich Herrn Meder.

Am Spitzkop liegt der Hornfels zwischen zwei Lagern von Olivindiabas (vgl. Tafel IX, Profil 2), von denen das obere ein gröberes Korn zeigt, als das untere; bei Wolferkuil ist der Hornfels ungewöhnlich mächtig entwickelt und setzt den ganzen Hügel bis an die Diabasdecke zusammen.

Ein am Pulverthurm bei Colesberg ebenfalls von zwei Diabaslagern begrenzter Hornfels zeichnet sich schon makroskopisch durch eine weniger intensive schwarze Farbe aus, indem lichtere grauschwarze Lagen mit dunkleren wechseln; auch der Bruch ist nicht so vollkommen muschlig, die Bruchfläche um ein geringes weniger dicht, als bei den bisher beschriebenen Vorkommnissen. Kann man schon hiernach vermuthen, dass nicht ein Endproduct der Umwandlung vorliegt,

Digitized by Google

so wird dies durch die mikroskopische und chemische Untersuchung bestätigt. Die Biotitaggregate grenzen sich weniger scharf ab, die staubförmigen opaken Partikel fehlen, Chloritschüppchen sind noch zahlreich vorhanden und ziemlich gleichmässig vertheilt, obwohl sich Anfänge concretionärer Anhäufung zeigen. Auch die chemische Zusammensetzung (Analyse V) stimmt sehr gut — besonders im Wassergehalt — mit derjenigen der zweiten Zone vom Vollkranz überein, und es wurde daher Analyse II zum Vergleich ebenfalls unten wiederholt. Analyse V ist das Mittel aus den von den Herren Davidson und Thompson erhaltenen Zahlen, welche kaum von einander abweichen. Auch die specifischen Gewichte sind annähernd gleich.

| | III. | IV. | II. | V. |
|---|---|---|---|---|
| Kieselsäure . . . | 63.88 | 63.09 | 65.37 | 68.90 |
| Thonerde . . . . | 17.68 | 18.66 | 16.87 | 14.20 |
| Eisenoxyd . . . | 7.21 | 4.16 | 2.83 | 3.25 |
| Eisenoxydul . . . | 1.05 | 5.78 | 3.40 | 3.01 |
| Kalk . . . . . | 1.15 | 1.07 | 1.53 | 1.27 |
| Magnesia . . . . | 2.38 | 1.64 | 1.85 | 2.05 |
| Kali . . . . . | 1.93 | 1.65 | 3.23 | 3.65 |
| Natron . . . . | 1.47 | 1.57 | 2.16 | 1.16 |
| Wasser . . . . | 1.96 | 1.91 | 2.74 | 2.54 |
| | 98.71 | 99.53 | 100.38 | 100.03 |
| Spec. Gew. . . . | 2.667 | 2.677[1] | 2.691 | 2.704 |

Etwas abweichend verhalten sich Hornfelse, welche ich in zahlreichen losen Stücken local angehäuft auf der Spitze des Coleskop bei Colesberg fand. Ihrer Form nach kann man sie nur für Nuclei halten, also für die unbrauchbaren Reste solcher Stücke, von denen Scherben abgesprengt worden sind, um sie als Pfeilspitzen, Messer oder ähnliche Dinge zu verwenden[2]. Der Hornfels dürfte aus unmittelbarer Nähe stammen, da ein mächtiges Diabaslager den Gipfel des Berges krönt; doch konnte ich ihn anstehend nicht auffinden. Er

[1] Fast genau das gleiche spec. Gew. besitzt der Hornfels vom Spitzkop, nämlich 2.670.

[2] Vgl. auch E. Cohen: Über die von den Eingeborenen Süd-Afrikas verwendeten Producte des Mineralreichs. Mitth. aus d. naturw. Vereine v. Neuvorpommern u. Rügen in Greifswald. XVII. 1886. 84.

Digitized by Google

mag daher im Hangenden des Diabas gelegen haben und bis auf die zusammengetragenen Reste der Erosion zum Opfer gefallen sein. Da der Berg früher Buschmännern vielfach als schwer zugängliche und leicht zu vertheidigende Zufluchtsstätte gedient hat, so ist die Bearbeitung der Stücke höchst. wahrscheinlich auf dieses noch jetzt in nicht allzu grosser Ferne zerstreut lebende Volk zurückzuführen.

Makroskopisch gleichen die Stücke durchaus den übrigen schwarzen, dichten, vollkommen muschlig brechenden Hornfelsen. Die mikroskopische Untersuchung ergibt jedoch, dass ihnen ungemein zahlreiche, gleichmässig vertheilte und regellos angeordnete, farblose, säulenförmige Mikrolithe eigenthümlich sind, welche parallel zur Längsrichtung auslöschen, und von Salzsäure im Dünnschliff nicht angegriffen werden. Versuche, dieselben zu isoliren und näher zu bestimmen, misslangen bisher. Auch die Biotitblättchen sind hier grösser als gewöhnlich und zu weniger scharf begrenzten Gruppen vereinigt. Statt der Anhäufungen feiner opaker Körnchen treten solche staubförmiger, röthlicher Partikel auf, welche das Centrum farbloser, meist rechteckig begrenzter concretionärer Gebilde einnehmen. Letztere bestehen aus kleinen, lebhaft doppelbrechenden, durch Salzsäure im Dünnschliff zersetzbaren Körnchen, welche fast gleichzeitig auslöschen und zwar dann, wenn die Nicolhauptschnitte mit den Seiten der rechteckigen Durchschnitte zusammenfallen. Im gewöhnlichen Licht gleichen die Concretionen quadratischen Krystallen mit zahlreichen staubförmigen Interpositionen. Diese Concretionen fehlen, wo Chloritschüppchen noch reichlicher vorhanden sind, und scheinen daher letztere hier zu ersetzen, d. h. aus ihnen entstanden zu sein, statt der Scheibchen mit opakem Staub in den übrigen Hornfelsen[1].

Da Zusammensetzung und Structur der Hornfelse überall sehr ähnlich, an den meisten Punkten sogar identisch sind, so kann man daraus schliessen, dass die veränderten Sedimente ebenfalls ursprünglich sich wenig von einander unterschieden haben, d. h. überall, wie am Vollkranz, sandige Schiefer gewesen sind. Zu dem gleichen Schluss gelangt man auch auf

[1] Das spec. Gew. wurde zu 2.708 ermittelt.

Digitized by Google

indirectem Wege. In den durch Abbau der Diamantfelder entstandenen Aufschlüssen innerhalb der Karrooformation konnte man zur Zeit meiner Anwesenheit mehrfach den Contact zwischen mergeligen Schieferthonen und eingeschalteten Diabaslagern beobachten; doch habe ich hier niemals eine Veränderung jener constatiren können, und unter den Einschlüssen im diamantführenden Boden, welche zum grössten Theil dem Nebengestein entstammen, kamen ebenfalls keine Hornfelse vor. Desgleichen fand ich zu Magerfontein unweit Du Toits Pan bei Gelegenheit einer Brunnenanlage, welche gute Aufschlüsse am Contact von Diabas und Schieferthonen lieferte, nicht die geringste Veränderung der letzteren. Soweit also Beobachtungen vorliegen, gelangt man zu dem auffälligen Resultat, dass in Süd-Afrika durch den Lagerdiabas nur den Sandsteinen sich nähernde Schiefer verändert worden sind, keine normalen Schieferthone[1], obgleich man bei feinerem Material wohl a priori eher eine Beeinflussung erwarten würde, als bei gröberem.

Aus der Art der Contactmetamorphose kann man ferner, wie mir scheint, den sicheren Schluss ziehen, dass in der That Diabase, d. h. Plagioklas-Augit-Gesteine von vortertiärem Alter vorliegen und keine Dolerite oder Basalte, da man an letzteren noch niemals ähnliche Contactwirkungen beobachtet hat. Der Unterschied, welcher — soweit bis jetzt bekannt ist — zwischen den Contactwirkungen der Granite, Syenite Diorite, Diabase etc. einerseits, der Liparite, Trachyte, Andesite, Basalte etc. andererseits vorhanden ist, scheint mir ein wesentlicher zu sein und allein schon zu einer Trennung dieser Gruppen nach dem jetzigen Stande petrographischer Kenntniss zu berechtigen. Von den südafrikanischen Geologen ist dieselbe im Anschluss an englische Petrographen nicht durchgeführt, so dass die hier als Diabase und Diabasporphyrite beschriebenen Gesteine von den Meisten selbst in einer und derselben Arbeit, je nach dem makroskopischen Habitus, mit den allerverschiedensten Namen belegt worden sind, wie schon oben hervorgehoben wurde.

---

[1] Eine Ausnahme würde nur das weiter unten beschriebene Gestein vom Spitzkop bilden, falls es thatsächlich ein Contactproduct ist.

Digitized by Google

Schliesslich folgt aus dem Auftreten der Contactzone, sowohl im Liegenden als auch im Hangenden der Diabase, dass letztere als intrusive Lager aufzufassen sind, welche zwischen die Schichten der Karrooformation eindrangen, nachdem letztere zum Absatz gelangt waren, nicht etwa ursprünglich Decken bildeten, die später von Sedimenten bedeckt wurden. Eine Veränderung hangender Schichten lässt sich allerdings nicht allzu häufig beobachten, da die Erosion mit grosser Energie fortschreitet, bis ein Diabaslager freigelegt ist; wo aber mehrere über einander liegen, wie dies z. B. in dem Profil am Vollkranz der Fall ist, da tritt auch die Contactzone im Hangenden auf.

Eine Beeinflussung des Nebengesteins durch die Gangdiabase fehlt nicht vollständig; doch ist die Veränderung nur eine geringfügige und beschränkt sich fast ganz auf den makroskopischen Habitus, indem Verlust der Schieferung und Härtung zwar deutlich hervortreten, durch das Mikroskop jedoch irgend wesentliche Unterschiede sich nicht constatiren lassen. Näher untersucht wurden zwei Vorkommnisse aus der nächsten Umgebung von Colesberg.

Recht deutliche Contacterscheinungen zeigt der schon oben wegen seiner Veränderung gegen das Salband erwähnte Gang von Olivindiabasporphyrit, welcher bei der Ziegelhütte von Colesberg im Sandstein aufsetzt. 125 cm. von der Diabasgrenze ist letzterer noch unverändert. Es ist ein isabellgelber, dünnschiefriger, beim Anhauchen stark thonig riechender, feinkörniger Sandstein. Körner von Quarz und von einem vollständig getrübten Mineral (höchst wahrscheinlich zersetztem Feldspath), nebst Blättchen und Leisten eines bräunlichgelben, meist veränderten, aber z. Th. auch noch kräftig pleochroitischen Glimmer sind die Hauptgemengtheile. Hinzu kommen Muscovitblättchen, deren Basis in der Regel senkrecht zur Schieferungsebene steht, während die Biotitblättchen meist parallel zu derselben angeordnet sind[1]. Opake

[1] Dass bei gleichzeitigem Auftreten von Biotit und Muscovit in geschichteten Gesteinen die Orientirung beider zur Schieferungsebene eine verschiedene ist, scheint eine recht häufige Erscheinung zu sein. Sie lässt sich wohl nur so deuten, dass die beiden Glimmer verschiedenen Stadien der Gesteinsbildung angehören.

Digitized by Google

Erze sind nur in äusserst geringer Menge vorhanden, Eisenhydroxyde etwas reichlicher. Nicht sicher bestimmbar waren stark lichtbrechende, isotrope, wasserklare Körner und gelegentliche Aggregate doppelbrechender Körner mit lebhaften Interferenzfarben (vielleicht Epidot).

Unmittelbar am Contact ist das Gestein massig, unvollkommen muschlig brechend, härter und dichter; auch die Färbung hat sich verändert, indem statt Gelb Olivengrün auftritt, und der Wechsel hellerer und dunklerer Lagen eine Bänderung erzeugt. Es ist daher eine gewisse Ähnlichkeit mit dem sogen. Bandjaspis vorhanden. Unter dem Mikroskop ist die Veränderung eine geringfügige: opakes Erz tritt etwas reichlicher auf, und der Biotit erscheint nicht so gleichmässig vertheilt, sondern hat sich streifenweise angereichert.

Bei der Colesberger Quelle wird ein Sandstein von dem oben beschriebenen Melaphyr durchsetzt, welcher sich vom Sandstein bei der Ziegelhütte durch erheblich höheren Gehalt an Feldspath, durch grösseren an Muscovit unterscheidet. Schon makroskopisch tritt Feldspath resp. Kaolin reichlich hervor, die Festigkeit ist gering, der Habitus etwa derjenige einer sehr feinkörnigen, sandsteinartigen Arkose. Direct am Contact ist der Sandstein bedeutend fester, undeutlich schiefrig und grau statt gelb gefärbt. Trotz der beträchtlichen Härtung nimmt man mit Hülfe des Mikroskops keine andere Veränderung wahr, als dass die Zahl der opaken Körner sich merklich vermehrt hat.

Im Anschluss an diese zweifellosen Contactmetamorphosen mag ein eigentümliches Gestein beschrieben werden, welches im Liegenden eines feinkörnigen Lagerdiabas an dem schon oben bei Gelegenheit der Hornfelse erwähnten Spitzkop unweit Du Toits Pan auftritt (Tafel IX, Profil 2).

Es ist ein licht aschgraues, stark thonig riechendes, muschlig brechendes Gestein, welches sich im Gesammthabitus am ehesten mit manchen Keupermergeln vergleichen lässt, aber nur Spuren von Carbonaten enthält. Unter der Lupe erscheint es äusserst fein und dicht getüpfelt durch kleine Partikel einer dunkel grünlichgrauen Substanz, welche gelegentlich auch in grösseren, unregelmässig begrenzten Putzen auftritt. Unter dem Mikroskop erweisen sie sich als con-

Digitized by Google

cretionäre Gebilde, welche wohl ein Drittel der Gesteinsmasse ausmachen und im Centrum aus einem dichten Häufchen dunkler Fäserchen bestehen; zunächst folgt eine wasserklare Zone, wie es scheint, aus Quarzkörnchen und Glimmerschüppchen zusammengesetzt; schliesslich ein schmaler dunkler Saum. Der Durchmesser beträgt etwa 0.03 bis 0.06 mm. Die übrige Gesteinsmasse ist äusserst fein struirt und wirkt mit Ausnahme winzigster doppelbrechender Körnchen nicht merklich auf polarisirtes Licht.

Ob hier ein Contactphänomen vorliegt, lässt sich nach dem Auftreten in der Natur nicht entscheiden, da die unteren Gehänge des Berges so vollständig überschüttet sind, dass trotz mehrfachen Besuchs an keiner Stelle ein Übergang in andere Schichten zu beobachten war. Nach dem mikroskopischen Befund jedoch dürfte eine Contactwirkung nicht unwahrscheinlich erscheinen. Dafür würden das Auftreten concretionärer Gebilde sprechen, die unmittelbare Nähe des Diabas und das vollständige Fehlen ähnlicher Gesteine unter den normalen Schichten der Karrooformation. Ist diese Deutung richtig, so liegt hier der einzige von mir beobachtete Fall vor, dass normale (nicht sandige oder sandsteinartige) Schiefer in Südafrika vom Diabas verändert worden sind.

### c. Obere Abtheilung.

Die obere Karrooformation bildet zusammenhängend den östlichen Theil des Oranje Freistaats und erstreckt sich nach der geologischen Karte von E. J. Dunn[1], der sie im Anschluss an A. Wyley[1] als „Stormberg beds" bezeichnet, im Osten bis über Pietermaritzburg (Natal) hinaus, während sie im Süden den Oranjefluss überschreitet und im nordöstlichen Theil der Capcolonie das vorherrschende Gebirge bildet. Ausserdem treten — ebenfalls nach Dunn — in der westlichen Capcolonie zwei isolirte Partien auf: die eine in den Karree-Bergen, die andere in den Nieuweveld-Bergen zwischen Frasersburg und Beaufort-West.

Abgesehen von Natal, wo von Dunn die Grenze zweifellos zu weit gegen Ost vorgeschoben worden ist, habe ich das Gebiet der oberen Karrooformation nur auf einer Reise

[1] l. c.

Digitized by Google

durch den Oranje Freistaat berührt, und zwar bei so ungünstiger Witterung und unter so ausserordentlich schwierigen sonstigen Verhältnissen, dass ich keine irgendwie eingehenden Beobachtungen anstellen konnte, und Sammeln vollständig ausgeschlossen war. Ich muss mich daher auf die wenigen folgenden Angaben beschränken.

Sandsteine von weisser oder lichtrother Färbung herrschen in mächtigen Bänken stark vor; dieselben sind fester, quarziger[1] und grobkörniger, als sie in den tieferen Regionen der Karrooformation auftreten, werden zuweilen conglomeratartig und gleichen häufig dem Tafelbergsandstein, wie dies auch Griesbach für Natal hervorgehoben hat. Den festeren und mehr massigen Bänken sind untergeordnet schiefrige Sandsteine und Schiefer eingeschaltet. Dieser oberen Abtheilung gehören höchst wahrscheinlich die Melaphyre mit eigenthümlichen, langgestreckten und mannigfach verästelten Mandeln an, welche ich schon früher aus den Malutibergen beschrieben habe[2]. Nach Mittheilung der Herren Orpen und Dr. Paul, von denen mir die Stücke zur Untersuchung übersandt waren, überlagern sie Sandsteine, welche nach der Karte von Dunn der oberen Karrooformation angehören müssen.

### 3. Pleistocäne Bildungen.

Die Gesteine der Karrooformation oder deren unmittelbare Zersetzungsproducte treten theils direct an die Oberfläche, theils werden sie von jüngeren Bildungen bedeckt. Ausgedehnte und auf grössere Strecken zusammenhängende Partien der letzteren trifft man besonders in Griqualand West, im Oranje Freistaat und in der nördlichen Capcolonie, während in den südlicheren Karroo-Gebieten die Ablagerungen spärlicher und beschränkter vorkommen; doch fehlt es auch im Norden nicht an vielfachen localen Unterbrechungen. Im allgemeinen liegen unten Kalktuffe — entweder dem unzersetzten Gestein direct auflagernd oder von letzterem durch thonige Bildungen getrennt[3] — oben grobe Sande. Wo diese locker und leicht

[1] Sie liefern daher einen guten Baustein.

[2] Dies. Jahrb. 1875. 113—127; 1880. I. 96.

[3] In Folge dessen treten zuweilen an der unteren Grenze des Kalktuffs schwache Quellen hervor.

Digitized by Google

beweglich sind, werden sie durch die so häufigen sturmartigen Wirbelwinde vielfach dislocirt; man sieht daher nicht selten Kalktuff direct an die Oberfläche treten, wo er kurz vorher noch durch Sand vollständig verhüllt war. Welch gewaltige Massen auf diese Weise bewegt werden, kann man daraus ersehen, dass die Sandstürme in der Gegend der Diamantfelder oft während des ganzen Tages andauerten und eine vollständige Verfinsterung bewirkten[1]. Wenn trotzdem nirgends dünenartige Anhäufungen entstehen, so liegt dies wohl an der wirbelartigen Natur der Stürme, welche nach den verschiedensten Richtungen dislociren, und das ein Mal fortgeführte ein anderes Mal zurückführen. Die wechselnde Natur der Oberfläche — Schiefer, Sandsteine, Diabase, Kalktuffe, Sande — und die dadurch bedingte ungleiche Erwärmung des Bodens, sowie gleichzeitig der unteren Luftschichten, dürfte auch wesentlich die Entstehung der Wirbelwinde fördern, ja zuweilen die einzige Ursache sein. Wenigstens glaube ich letzteres für die kleinen Sandwirbel annehmen zu sollen, welchen man häufig auf den ausgedehnten Karrooebenen in grosser Zahl begegnet, oder welche isolirte Tafelberge und Spitzkopjes gleichsam in zierlichem Reigen umkreisen.

Auf den Diamantfeldern, wo Sand und Kalktuff entfernt werden müssen, um an den tuffartigen diamantführenden Boden zu gelangen, und daher früher gute Aufschlüsse vorhanden waren, mag die durchschnittliche Mächtigkeit des Sandes $\frac{1}{2}$ m., des Kalktuffs 2 m. betragen.

Der Kalktuff zeigt sehr wechselnde Structurformen. Zuweilen ist er fest und durchaus compact, von muschlig-splittrigem Bruch und von mannigfachen gelblichen, bräunlichen oder violetten Färbungen; gefleckte und dann breccienartig aussehende Varietäten sind häufig, gebänderte selten. Er umschliesst meist zahlreiche klastische Elemente, besonders Körner von Quarz, Plagioklas, Augit, aber auch Schiefer-, Sandstein- und Diabasfragmente, die zum Theil schon makroskopisch, zum Theil erst im Dünnschliff hervortreten. Der Kalkstein selbst ist der Hauptmasse nach sehr feinkörnig,

[1] Gegen Sonnenuntergang hörten sie, soweit meine Erfahrung geht, ausnahmslos auf.

Digitized by Google

enthält jedoch Nester und Adern gröber krystallinischer Calcitaggregate, deren Individuen niemals Zwillingsbildung erkennen lassen. Nach den Bedingungen, unter welchen Kalktuff sich bildet, kann man dies auch a priori erwarten, da Zwillingslamellen nach $-\frac{1}{2}$ R wohl nur dort angetroffen werden, wo die Krystallisation des kohlensauren Kalks unter Druck stattfand. Andere Kalktuffe sind porös bis groblöcherig, von sehr fein krystallinischer Structur und umschliessen ausser Schieferbrocken vorzugsweise Quarzkörner. Schliesslich kommen auch — aber am seltensten und nur untergeordnet — erdige Varietäten von rein weisser Farbe und durchaus kreideartigem Habitus vor, welche lediglich aus kleinen Calcitindividuen bestehen.

Die chemische Zusammensetzung ist eine wenig schwankende, wenn man von dem kreideartigen, an Magnesium ärmeren Kalktuff absieht, welcher auch schwerlich primärer Bildung sein dürfte. Es sind dolomitische Kalktuffe, wie sich aus den folgenden Analysen ergibt:

I. Poröser Kalktuff mit reichlichen Quarzkörnern von New Rush (Kimberley); liegt direct auf diamantführendem Tuff und wird von rothem Sand überlagert. Analysirt von Herrn H. Geitel.

II. Grosszelliger Kalktuff von Koffifontein zwischen Colesberg und Philipstown in der Capcolonie; überlagert diamantführenden Tuff. Analysirt von Herrn Lesczynski.

III. Gelber, compacter, breccienähnlicher Kalktuff von Friedrichsfontein unweit Zoutpansdrift am Oranje, Griqualand West; enthält vorzugsweise Plagioklas, Augit und Olivin, sowie Brocken von Diabas. Analysirt von Herrn Breslauer.

IV. Bräunlichvioletter, compacter Kalktuff von Oudedrift zwischen Beaufort West und Nel's Poort in der Capcolonie; mit Schiefer und Sandsteinbrocken, sowie mit gröber krystallinischen Calcitpartien, als die übrigen Varietäten. Analysirt von Herrn Geneuss.

V. Kreideähnlicher Kalktuff von New Rush (Kimberley); liegt auf normalem porösen Kalktuff (I) und dürfte aus diesem entstanden sein. Analysirt von Herrn H. Müller.

Digitized by Google

| | I. | II. | III. | IV. | V. |
|---|---|---|---|---|---|
| Kalk . . . . | 36.80 | 44.72 | 42.80 | 37.08 | 50.52 |
| Magnesia . . | 4.92 | 4.25 | 3.80 | 3.96 | 1.48 |
| Kohlensäure . | 29.89 | 36.36 | 36.02 | 34.48 | 39.60 |
| Gangart[1] . . | 27.83 | 10.76 | 16.14 | 23.71 | 7.06 |
| Wasser . . . | — | — | — | 0.30 | 0.69 |
| | 99.44 | 96.09 | 98.76 | 99.53 | 99.35 |

Berechnet man den Gehalt an Carbonaten nach Abzug der Gangart und unter Zugrundelegung der gefundenen Mengen von Kalk und Magnesia, so erhält man eine bessere Übersicht über das Verhältniss von Magnesiumcarbonat zu Calciumcarbonat. Doch können diese Zahlen nur annähernd richtig sein, da nach dem meist zu geringen Gehalt an Kohlensäure die alkalischen Erden zum Theil Silicaten entstammen müssen, welche durch Salzsäure angegriffen wurden.

| | I. | II. | III. | IV. | V. |
|---|---|---|---|---|---|
| Calciumcarbonat . . . | 86.42 | 89.95 | 90.55 | 88.84 | 96.67 |
| Magnesiumcarbonat . . | 13.58 | 10.05 | 9.45 | 11.16 | 3.33 |

Nur local trifft man Ablagerungen von bedeutender Mächtigkeit. Bei Likatlong, an der Vereinigung von Hartfluss und Vaal steht z. B. Kalktuff in bis zu 30 m. mächtigen, vielfach zerklüfteten Felsen an mit senkrechtem Abfall gegen den Vaalfluss, der sein jetziges Bett augenscheinlich erst nach Absatz des Kalktufis eingenagt hat. Ferner bildet weisser bis gelblicher, theils compacter, theils poröser Kalktuff dicht bei Hopetown unweit des Oranje hügelartige Anschwellungen von nicht unbedeutender Ausdehnung. Er schliesst hier häufig Gerölle und Geschiebe zwischen Hirsekorn- und Kopfgrösse ein, welche öfters derart vorwalten, dass der kohlensaure Kalk nur als ganz untergeordnetes Bindemittel vertreten ist. Dabei sind die Gerölle local gewöhnlich von annähernd gleicher Grösse, so dass man zwischen den feinsten und gröbsten Conglomeraten alle denkbaren Übergänge sammeln kann.

Bei der grossen Verbreitung des Kalktuffs kann dessen Bildung schwerlich auf locale Ursachen zurückgeführt werden; er dürfte früher — wenigstens in den dem Oranjefluss nächst

[1] Dem unlöslichen Rückstand wurden Eisenoxyd und Thonerde zugerechnet, welche bei der Behandlung mit Salzsäure in Lösung gegangen waren.

Digitized by Google

gelegenen Gebieten — ganz oder grösstentheils zusammenhängende Ablagerungen gebildet haben, welche erst später durch erodirende Einflüsse vielfach unterbrochen wurden. Es erscheint mir am wahrscheinlichsten, dass er einer Zeit seine Entstehung verdankt, zu welcher diese Theile Süd-Afrikas von ausgedehnten flachen Ansammlungen brackischen Wassers bedeckt waren, wie wir sie jetzt noch weiter nördlich, und zwar besonders ausgedehnt in der Gegend des Ngami-Sees finden. Ich möchte daher ein diluviales Alter für den Kalktuff annehmen, so weit nicht innerhalb desselben local eine spätere Auflösung durch die Atmosphärilien und Neuabsatz stattgefunden hat, ein Process, dem die kreideähnlichen, magnesiumärmeren Varietäten wohl ihre Entstehung verdanken. Wenn Moulle meint (l. c. Sep.-Abdr. 63), dass der in den Diamantgruben unter dem Sand liegende Kalktuff durch Einwirkung der atmosphärischen Gewässer auf den diamantführenden Tuff entstanden, also eine ganz locale Bildung sei, so ist dies sicherlich nicht richtig, da er sich nicht von denjenigen Ablagerungen unterscheidet, welche die ganze Gegend bedecken, und auch mit diesen direct in Zusammenhang steht. Für die gleichartige Bildung aller Kalktuff-Ablagerungen spricht auch die oben angeführte chemische Zusammensetzung, welche innerhalb verhältnissmässig geringer Grenzen schwankt, während die analysirten Gesteine weit von einander entfernten Gegenden entstammen.

Ferner gehören die grösseren Geschiebe in den mächtigen Ablagerungen bei Hopetown fast ausschliesslich Gesteinen an, die im unteren Stromgebiet des benachbarten Oranje weit verbreitet sind, dagegen — soweit mir bekannt ist — dem oberen Stromgebiet fehlen[1]. Ist dies richtig, so muss die Kalktuffbildung zu einer Zeit stattgefunden haben, in welcher die hydrographischen Verhältnisse andere waren, als die jetzt herrschenden. Auch hier liegt es am nächsten, seeartige Becken anzunehmen mit Zuflüssen von den erhöhten Gebirgsrändern des Kaap-Gebirges (Campbell Randts). Der jetzige

[1] Allerdings ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass diese Gesteine sich weiter stromaufwärts erstrecken, als hier angenommen wird, und durch jüngere Bildungen jetzt vollständig verdeckt werden.

Digitized by Google

Lauf des Oranje wird erst entstanden sein, als die mächtigen Felsen des Gneissgebiets in Namaland durchnagt waren.

Der die Oberfläche bedeckende Sand scheint seiner Verbreitung nach im allgemeinen an den Kalktuff gebunden zu sein; jedenfalls stellt er sich dort am zusammenhängendsten und am constantesten ein, wo jener reichlich vertreten ist, und ich glaube, dass man auch ihn zu den diluvialen Bildungen zu rechnen hat.

Besonders charakteristisch sind die stark eisenschüssigen, tief rothbraun gefärbten, ziemlich grobkörnigen Sande, wie sie in den Diamantgruben gut aufgeschlossen wurden, aber auch sonst weite Flächen bedecken. Die Gegenden zwischen Kimberley und Hopetown in Griqualand West und zwischen Philipolis und Fauresmith im Oranje Freistaat mögen besonders hervorgehoben werden. Der Sand besteht ganz vorherrschend aus mannigfach gestalteten Quarzkörnern, deren Kanten und Ecken jedoch stets gerundet sind, und aus Eisenhydroxyden, welche sich durch Salzsäure leicht entfernen lassen. Magnetit ist in äusserst geringer Menge vertreten, und auch Körnchen, die sich als zersetzter Feldspath deuten lassen, sind nur sehr spärlich wahrzunehmen. Wenn es auch nicht an losen Sandanhäufungen fehlt, so sind doch die Quarzkörner gewöhnlich durch die Eisenhydroxyde, denen sich wohl auch etwas Thon hinzugesellt, locker verkittet. Früher wenigstens wurde dieser rothbraune Sand häufig in Ermangelung besseren Materials zur Herstellung von Ziegeln verwendet, welche allerdings nur den allermässigsten Ansprüchen genügen können.

Weniger charakteristisch und von mehr localer Verbreitung sind gelbbraune, bräunlichgelbe, hellrothe und graue Sande, letztere wohl durch Auslaugung der Eisenoxyde nach deren Reduction entstanden. Grössere Gerölle treten überall selten auf und fehlen oft auf weite Erstreckung ganz.

Die untere Grenze ist keine scharfe, sondern Kalktuff und Sand gehen auf das mannigfachste in einander über, so dass die obersten Lagen des ersteren in der Regel aus einem innigen Gemenge von Kalkcarbonat und Quarzkörnern bestehen. Ein solches ist auch gelegentlich allein vertreten, wenn beide Ablagerungen von geringer Mächtigkeit sind, wie

Digitized by Google

dies z. B. in den Diamantgruben von Jagersfontein und Koffifontein der Fall zu sein schien.

Ganz anderer Art sind die jetzigen Absätze der Flüsse dieser Gegend, also besonders des Oranje-, Vaal-, Modder- und Rietflusses. Es sind feinkörnige, licht gefärbte, etwas lehmige Sande ohne Schichtung und gern in steilen Wänden abfallend. Dadurch entsteht einige Ähnlichkeit mit unserem Löss, von dem sie sich aber durch das Fehlen von Carbonaten unterscheiden, entsprechend der Armuth der Stromgebiete an Kalkstein oder kalkreicheren Gesteinen. Es mag hier erwähnt werden, dass ich echte lössartige Gebilde nirgends in Südafrika gesehen habe.

Diese recenten Flussablagerungen erreichen eine bedeutende Mächtigkeit und steigen hoch über das gewöhnliche Flussniveau an. Nach ihren Grenzen lässt sich am besten abschätzen, wie gewaltig die Flüsse anschwellen können, da Ablagerungen, welche sich mit ihnen verwechseln lassen, nicht in grösserer Entfernung von Flussufern vorkommen. An den Furthen schneidet die Fahrstrasse tief in diese losen Anhäufungen ein, welche den Übergang über die Flüsse in hohem Grade erschweren. Es bedarf oft 36 und mehr Ochsen, um schwer beladene Wagen durch solche Hohlwege zu bringen.

Schliesslich wären noch feste Conglomerate zu erwähnen, welche in der Gegend von Hopetown am linken Ufer des Oranje anstehen, niedrige Höhenzüge zusammensetzen und sich nicht weit landeinwärts verfolgen lassen[1]. Sie liegen auf einem bräunlichgelben oder bläulichgrauen, feinkörnigen, unvollkommen schiefrigen Sandstein, welcher augenscheinlich der Karrooformation angehört, und scheinen älter zu sein, als die nahe gelegenen geröllführenden Kalktuffe. Das Bindemittel ist grauwackeartig und enthält nur sehr geringe Mengen von Carbonaten. Die Gerölle und Geschiebe, welche auch hier sehr wechselnde und zum Theil gewaltige Dimensionen erreichen, entstammen ebenfalls vorzugsweise Gesteinen, wie sie nur aus dem unteren Stromgebiet bekannt sind. Ich beobachtete besonders gneissartige und syenitische Gesteine,

[1] Ähnliche Conglomerate sind es wohl, welche Stow von Reads Drift am Oranje und Wyley aus der nördlichen Capcolonie zwischen den Doornbergen und Hopetown erwähnt.



Digitized by Google

sowie feinkörnige, blaue, kieselreiche Kalksteine, jenen gleich, welche das Hochplateau des westlich vom Vaalfluss gelegenen Kaapgebirges zusammensetzen. Strow nimmt für diese Conglomerate eine glaciale Entstehung[1] an und bezeichnet sie als „alte Conglomerate“[2], Dunn direct als „glaciales Conglomerat“[3], Wyley als „Trap? Conglomerat“ (l. c. 34).

Die genannten Autoren wurden wohl in erster Linie zu der Annahme eines glacialen Ursprungs für diese Conglomerate durch die Beobachtung veranlasst, dass die Gerölle nicht der benachbarten Gegend entstammen. Wir haben jedoch oben gesehen, dass auch eine andere Erklärung möglich ist, ja, wie mir scheint, näher liegt, da directe Anzeichen einer Glacialzeit in Süd-Afrika meines Wissens bisher nicht nachgewiesen sind. So lange solche nicht in entscheidenderer Form als bisher aufgefunden werden, bleibt die südafrikanische Eiszeit meiner Meinung nach eine zwar mögliche, aber unerwiesene und nicht einmal nothwendige Hypothese.

Die von Strow früher mitgetheilten Beobachtungen[4] beziehen sich allerdings auf mir unbekannte Theile der Capcolonie; da aber Strow glaubte, die gleichen Anzeichen auch in den Diamantgruben am Vaalfluss wahrgenommen zu haben[5], und ich Gelegenheit hatte, einen Theil der fraglichen Punkte in seiner Begleitung zu besichtigen, so halte ich mich für berechtigt, jenen älteren Beobachtungen nicht mehr Beweiskraft zuzuschreiben, als den späteren[6].

---

[1] Quaterly Journal of the Geological Society 1870. 52.

[2] Ibidem 1873. Tafel XXXV.

[3] Farbenerklärung zur citirten geologischen Karte. Derartig zusammenhängende Ablagerungen, wie sie Dunn einzeichnet, sind jedoch in der Gegend von Hopetown sicherlich nicht und auch sonst schwerlich vorhanden.

[4] On some points in South-African Geology. Part I. Quart. Journal of the Geol. Soc. 1871. 534 ff.

[5] On the diamond gravels of the Vaal-River. Ibidem February 1872.

[6] Vgl. auch dies. Jahrb. 1873. 150—155.

Digitized by Google

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

# Studien über den Palaeopikrit von Amelose bei Biedenkopf und dessen Umwandlungsprodukte.

Von

**R. Brauns** in Marburg.

Mit 3 Holzschnitten.

---

Seitdem Breithaupt im Jahre 1831 als der erste die bekannten Krystalle von Snarum in Norwegen als Pseudomorphosen von Serpentin nach Olivin erkannt hatte, sind die Zersetzungen des Olivins und die hierbei neu entstehenden Mineralien mehrfach Gegenstand eingehender Untersuchungen gewesen.

Wenn es trotzdem im Folgenden versucht werden soll, von einer bis jetzt wenig bekannten Lokalität des hessischen Hinterlandes die aus dem Olivin hervorgegangenen Neubildungen zu beschreiben, so mag dies vielleicht dadurch gerechtfertigt erscheinen, dass wohl nur an wenigen Stellen der unmittelbare Zusammenhang des Olivins mit seinen Zersetzungsprodukten so klar vor Augen liegt, wie gerade hier, wo auf einem Raum von etwa hundert Quadratmetern nicht nur das anstehende Olivingestein, sondern auch alle die aus ihm neu entstandenen Mineralien gefunden werden, so namentlich der gemeine Serpentin und seine Varietäten: der Chrysotil, Metaxit und der Pikrolith, ein neues, aus dem Serpentin durch Wasseraufnahme hervorgegangenes Magnesia-Eisensilicat, Quarz, interessant durch das Auftreten einer seiner seltensten Flächen, Kalkspath und andere mehr.

Dem Alter nach unterscheidet sich das Muttergestein dieser Serpentine von dem der meisten bekannten dadurch,



Digitized by Google

dass es dem Devon, nicht wie diese, den krystallinischen Schiefern eingelagert ist; es ist ein Olivindiabas (Palaeopikrit).

Bevor wir jedoch auf die Einzelheiten eingehen, haben wir die einschlägige Litteratur kurz zu besprechen.

Die oben erwähnte Ansicht Breithaupt's (1)[1] über die Natur der Snarumer Krystalle fand in den folgenden Jahren nur wenig Beachtung, wohl aus dem Grunde, weil keine genügenden Beweise vorgebracht waren; dies ist erst durch die folgenden Arbeiten geschehen.

Soweit durch eine krystallographische Untersuchung die Identität der Krystalle von Snarum mit dem Olivin bezüglich der Form dargethan werden konnte, ist dies in der Arbeit von Quenstedt geschehen (2), welcher sie in der Weise erschöpfend behandelte, dass die späteren Forscher hier nichts mehr hinzuzufügen hatten.

Es gelang Quenstedt, nicht nur die am Olivin in der Regel auftretenden Flächen nachzuweisen, sondern auch eine Reihe neuer Formen zu bestimmen und, wie hier gleichfalls bemerkt sei, dasselbe Zwillingsgesetz zu constatiren, das später G. vom Rath[2] am Monticellit vom Vesuv, und E. Kalkowsky[3] an eingewachsenen Olivinkrystallen nachgewiesen hat.

Dass nun diese Krystalle wirklich Pseudomorphosen von Serpentin nach Olivin seien, schloss Quenstedt aus einem grossen, in der Berliner Sammlung befindlichen Krystall von Snarum, dessen Inneres noch aus völlig unzersetzter Olivinmasse bestand, während Serpentin hauptsächlich den äusseren Theil bildete, aber auch schon in Schnüren das Innere durchsetzte.

Obgleich hiernach ein Zweifel an der pseudomorphen Natur dieser Krystalle fast ausgeschlossen erschien, so wurden doch von Scheerer, Tamnau und Andern Einwürfe hiergegen vorgebracht und von ihnen nach wie vor die Krystalle als echte Serpentinkrystalle angesprochen und der angebliche Olivinkern als ungewöhnlich reiner Serpentin betrachtet. Die wegen der mit Olivin identischen Krystallform hervorgerufenen

[1] Die Zahlen beziehen sich auf die Nummern des hinten angefügten Litteraturnachweises.

[2] Poggendorff's Annalen 1868, Bd. 135, p. 581.

[3] Zeitschrift für Krystallographie. 1885, X, p. 17.

Digitized by Google

Bedenken wurden von Scheerer durch die Annahme eines „polymeren Isomorphismus“ zwischen Magnesia und Wasser zu beschwichtigen gesucht.

Zur Widerlegung dieser mehr oder weniger scheinbar berechtigten Einwürfe that G. Rose (3) den letzten Schritt, der noch zu thun war, und zeigte, dass die chemische Zusammensetzung dieser Krystalle weder die des Serpentins, noch die des Olivins, sondern eine zwischen beiden liegende sei. Die von Heffter ausgeführte Analyse ergab nämlich:

41,93 $SiO_2$. 2,02 FeO. 0,25 MnO. Spur von $Al_2O_3$. 53,18 MgO. 4,00 $H_2O$.
Sa. = 101,38.

Dies entspricht aber einer Zusammensetzung von 30% Serpentin und 70% Olivin; die Existenz des Olivins in den Snarumer Krystallen war hiermit unzweifelhaft dargethan und die pseudomorphe Natur der Krystalle erwiesen. Solche verhältnissmässig frische Krystalle von Snarum sind übrigens selten, die meisten sind vielmehr zu Serpentin umgewandelt.

Im Anschluss an die Analyse beschreibt G. Rose aufs neue die Art der Umwandlung, namentlich wie die Zersetzung des Olivins zu Serpentin auf zahlreichen Rissen von aussen nach innen vor sich geht und wie der Serpentin in fein verzweigten Adern und dünnen Schnüren den Olivin vielfach durchzieht.

Die Beobachtungen Quenstedt's und G. Rose's wurden durch die späteren Forscher, namentlich Volger (4) und Websky (5) bestätigt, und die Erkenntniss, dass Serpentin aus Olivin entstehen könne, war somit erlangt, und wir finden, wie schon von Breithaupt, so auch von Quenstedt und Rose die Ansicht ausgesprochen, dass der Serpentin immer, auch wo er sich in grösseren Massen finde, secundärer Entstehung sei und zum grössten Theil aus Olivin sich gebildet habe.

Obwohl dieser Annahme von der secundären Natur aller Serpentine damals noch der Umstand entgegenstand, dass Olivingesteine von solcher Ausdehnung wie die Serpentinlager nicht bekannt waren, so hat sie sich doch als richtig erwiesen, indem seit dieser Zeit nicht nur Olivingesteine von den verschiedensten Punkten der Erde bekannt geworden und in Zusammenhang mit ihnen Serpentine gefunden sind, sondern auch durch weitere Forschungen dargethan ist, dass Serpentin nicht

Digitized by Google

aus Olivin allein, sondern auch aus andern Mineralien, namentlich thonerdefreien (6), aber auch thonerdehaltigen Pyroxenen und Amphibolen entstehen könne. In letzterem Falle giebt der Thonerdegehalt Veranlassung, dass neben dem Serpentin gleichzeitig Chlorit sich herausbildet (7—10).

Über die secundäre Natur aller Serpentine herrscht daher heute kein Zweifel mehr. Der Nachweis, aus welchem Gestein er in jedem einzelnen Falle entstanden ist, kann in der Regel aus den in ihm eingeschlossenen, unveränderten Mineralien des ursprünglichen Gesteins geführt werden (11).

Die Art und Weise, wie die Umwandlung des Olivins zu Serpentin vor sich geht, ist in mikroskopischer Beziehung von Websky (5) an den Serpentinpseudomorphosen von Snarum, namentlich aber von Tschermak (12) an den gesteinsbildenden Olivinen dargelegt worden und die Erscheinungen durch naturgetreue Abbildungen erläutert, wie ja allgemein bekannt.

Nach Websky zeigt die Ausfüllung der Schnüre im parallelen polarisirten Licht Pikrolithstruktur (Parallelfaserung), die eingeschlossenen Kerne die Struktur von Chalcedon (Radialfaserung), die inneren Kerne wirken nur verdunkelnd und sind daher wahrscheinlich heterogener Beschaffenheit. Ähnliche Erscheinungen beobachtet man bisweilen an den Olivinen des Diabases.

Tschermak beschreibt den mit Olivin noch in Verbindung stehenden Serpentin als nicht polarisirend; die Wirkung auf das polarisirte Licht ist allerdings häufig durch Compensation von nicht parallel über einander liegenden feinsten Fasern gering, aber in genügend dünnen Schliffen doch immer wahr zu nehmen.

Über die bei der Zersetzung des Olivins zu Serpentin ausserdem entstehenden Mineralien besitzen wir eine Abhandlung von A. Schrauf (13), worin die paragenetischen Verhältnisse des dem Gneiss eingelagerten Serpentinlagers von Kremze bei Budweis im südlichen Böhmerwald an der Hand von zahlreichen Analysen eingehend geschildert werden.

Das Gestein, welches den Serpentin und die andern Neubildungen geliefert hat, bestand ursprünglich aus Olivin, Pyrop und Omphacit (Chromdiopsid Sandb.). Der Olivin ist zum

Digitized by Google

grössten Theil schon in Serpentin umgewandelt, und dieser hat durch weitere Zersetzung neue Mineralien geliefert.

Der Serpentin ist nur als gemeiner, an dem Ort der Entstehung befindlicher, vorhanden; reine, auf Spalten abgesetzte Serpentine werden nicht erwähnt. Aus diesem Serpentin sind nun durch weitere Zersetzung andere Produkte entstanden, und Schrauf unterscheidet zwei verschiedene chemische Processe, welche zu den Neubildungen geführt haben:

a) Die Auslaugung des Serpentins und die Bildung neuer Mineralien aus dessen gelösten Bestandtheilen. Es entstehen Carbonate, Opalvarietäten und Hydrosilicate.

b) Die partielle Auslaugung und gleichzeitige Imprägnation des Serpentinfelses mit Kieselsäure: gleichsam eine Umwandlungspseudomorphose des Serpentins durch Abgabe und Aufnahme von Bestandtheilen. Es bilden sich „Siliciophite".

Die Carbonate bestehen aus kohlensaurer Magnesia und kohlensaurem Kalk und enthalten von letzterem um so mehr (22 %), je weniger sie sich von dem Olivin, aus dem sie entstanden sein sollen, entfernt haben; wenn sie ihrem Vorkommen nach weiter fortgeführt sind, so enthalten sie nur wenig kohlensauren Kalk, eine Probe 4,1 %, eine andere nur 0,68 %. Der Kohlensäuregehalt der Mineralien ist nicht genügend, die Basen als Carbonate zu binden, es muss daher ein Theil derselben an die immer vorhandene Kieselsäure gebunden sein; dies konnte in einem Fall durch die Analyse nachgewiesen werden. Ein Magnesit aus „amorpher, homogener Grundmasse" bestehend, von feinen Halbopaladern durchzogen und wenige Flitter eines Silicates einschliessend, hatte in möglichst reinen Stücken folgende Zusammensetzung:

46,42 MgO. 0,38 CaO. 0,86 FeO. 2,26 $SiO_2$. 49,01 $CO_2$. 1,56 aq.
Sa. = 100,46.

Der in Essigsäure unlösliche Theil gab bei 130° getrocknet:

39,44 $SiO_2$. 30,57 MgO. 1,97 $Al_2O_3$. 4,06 FeO. 24,18 aq.

„Dieser in Essigsäure unlösliche Rest", fährt Schrauf fort, „besitzt eine Constitution, welche jener des Serpentins gleichkommt." Dem steht aber doch der viel zu hohe Wasser-

Digitized by Google

gehalt in obiger Analyse entgegen. Wenn nicht ausdrücklich angegeben wäre, die Substanz sei bei 130° getrocknet (bis zum constanten Gewicht?), so würde man eher vermuthen, das Mineral stünde mit dem unten zu betrachtenden neuen Mineral, das 31 % Wasser enthält und, wie wir sehen werden, bei Amelose auch in Kalkspath eingesprengt vorkommt, in näherer Beziehung, als wie mit Serpentin.

Die bei der Zersetzung des Serpentins frei werdende Kieselsäure findet sich als Hyalith, Halbopal, Chalcedon und selten als Quarz. Die vorkommenden Halbopalvarietäten unterscheiden sich durch einen grösseren oder geringeren Magnesiagehalt (bis 8 % MgO) und manche derselben werden als wahre Hydrophane bezeichnet. Die Eigenschaft derselben, im Wasser durchsichtig zu werden, soll mit dem Magnesiagehalt zusammenhängen, dürfte aber auch hier, wie in andern Fällen auf eine geringe Porosität zurückzuführen sein.

Als Hydrosilicate, welche in Folge der Zersetzung des Serpentins neu entstanden sind, führt Schrauf die von ihm Enophit (I) und Parachlorit (II) benannten Mineralien an, die beide von chloritischem Habitus sind, vollkommene Spaltbarkeit nach einer Richtung besitzen und deren Zusammensetzung (I und II) zwischen der des Serpentins und Chlorits liegt:

| | I. | II. |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 38,397 | 35,83 |
| MgO | 30,464 | 26,33 |
| CaO | 3,210 | 0,42 |
| FeO | 4,510 | 2,35 |
| $Fe_2O_3$ | 3,112 | 2,97 |
| $Al_2O_3$ | 3,714 | 12,39 |
| $Cr_2O_3$ | Spur | Spur |
| $H_2O$ | 17,059 | 19,60 |
| | 100,466 | 99,89 |

Beide Analysen beziehen sich auf lufttrockenes Material; bei 100° getrocknet ist der Wassergehalt von I 15,118 %, der von II 12,75.

Wenn diese Produkte, wie es von Schrauf geschieht, als besondere Mineralien aufgefasst werden sollen, so lassen sie sich nur schwierig erklären. Die Formel für den Parachlorit z. B. würde nach Schrauf sein:

Digitized by Google

$$Al_{14}Fe_2Si_{12}O_{48} + Mg_{40}Fe_2H_{12}Si_{24}O_{96} + 33\ aq.,$$

wodurch wohl die Zusammensetzung wiedergegeben ist, die aber für ein homogenes Mineral wenig Wahrscheinlichkeit hat. Auch scheint die Zusammensetzung nicht constant zu sein, wenigstens wurde bei einer zweiten Analyse für den Enophit gefunden: 41,6 $SiO_2$. 44,9 CaO . MgO . FeO . 14,1 Glühverlust, also beträchtlich mehr Kieselsäure und weniger Wasser, wie bei der ersten.

Sollte es daher nicht natürlicher sein, diese Gebilde als Pseudomorphosen von Serpentin nach Chlorit aufzufassen? Die Möglichkeit für die Bildung von Chlorit ist durch die Anwesenheit von Granat in dem ursprünglichen Gestein gegeben, und über die Möglichkeit der Umbildung des Chlorits in Serpentin hat sich schon Bischof (7) bei Besprechung der Glimmer- und Chloritgänge in dem Waldheimer Serpentinlager wie folgt ausgesprochen: „Da im Chlorit und Serpentin Kieselsäure, Magnesia und Wasser sehr nahe in gleichen Verhältnissen vorkommen, und Eisenoxydul in ihnen ziemlich nahe innerhalb gleicher Grenzen schwankt, so ist der Chlorit als Serpentin plus Thonerde, der Serpentin aber als Chlorit minus Thonerde zu betrachten. Wo aber das Hinzukommen oder Fehlen einer einzigen Substanz das Auftreten dieses oder jenes Minerals bedingt, da sind Übergänge des einen in das andere leicht zu begreifen: zu viel Thonerde im Serpentin macht ihn chloritartig, zu wenig Thonerde im Chlorit macht ihn serpentinartig . . . . Pseudomorphosen von Serpentin in Formen von Chlorit sind zwar nicht bekannt, vielleicht aber nur deshalb nicht, weil letzterer selten krystallisirt vorkommt. Da eine Umwandlung eine Ausscheidung von Thonerde voraussetzen würde, diese Ausscheidung aber bei der Umwandlung des Granat und Glimmer in Serpentin wirklich stattfindet: so ist die Möglichkeit der Umwandlung nicht zu bezweifeln.“ Volle Klarheit über die Natur dieser Produkte wird wohl nur durch eine genaue mikroskopische Untersuchung zu erlangen sein.

Als Siliciophite schliesslich bezeichnet Schrauf ausgelaugte, durch einen hohen Kieselsäuregehalt charakterisirte Serpentine, die das Zwischenglied bilden zwischen Serpentin und Opal. Auch solche Siliciophite werden wir bei Amelose wiederfinden, wo wir demnach alle hier beschriebenen Neu-

Digitized by Google

bildungen, ausser den Enophitmineralien, hierfür aber die verschiedenen typischen Serpentinvarietäten, welche bei Kremze fehlen, antreffen.

Noch eine Bemerkung Schrauf's über die Art der Entstehung des Serpentins ist hier anzuführen. Er unterscheidet 1) solche Serpentine, welche entstanden sind durch Umwandlung primären Olivin- oder Hornblendegesteins; sie bilden die gewöhnliche derbe Art des Serpentins; 2) solche, welche sich als Absatz aus den in Lösung übergegangenen Quantitäten des bereits vorhandenen Serpentins gebildet haben, wie der Chrysotil. Die Ansicht, dass Serpentin aus Lösungen sich abscheiden könne wird hier meines Wissens zum ersten Mal ausgesprochen. Wenn wir auch durch das Experiment nicht nachweisen können, dass Serpentin als solcher in Lösung geht (R. Müller in Tschermak's Mittheilungen 1877, p. 25), so müssen wir doch annehmen, dass die in Spalten auftretenden Serpentine, der Chrysotil, Metaxit und Pikrolith aus einer Lösung sich abgesetzt haben.

Wenn wir nach diesem allgemeinen Überblick zu dem übergehen, was speciell über die nassauischen Serpentine und deren Muttergestein, den Palaeopikrit, bis jetzt bekannt geworden ist, so sind hier zunächst verschiedene Arbeiten von Sandberger zu nennen, welcher bereits im Jahre 1847 (14) Serpentin von Dillenburg, der Grube „Hülfe Gottes" bei Nanzenbach, von Weilburg und Merkenbach bei Herborn, lauchgrünen Chrysotil von derselben Grube „Hülfe Gottes" erwähnt, alle in Verbindung stehend mit „Diorit"; die Olivingesteine waren damals noch nicht bekannt.

Der Olivinfels von den schwarzen Steinen bei Wallenfels unfern Tringenstein wird im Jahre 1865 von ihm kurz erwähnt (15), im folgenden Jahre werden die einzelnen Mineralien, Olivin, Chromdiopsid und Picotit und die Umwandlung des Olivins zu Serpentin beschrieben (11). Aus der letzten Mittheilung (16) Sandberger's wäre nur hervorzuheben, dass der Serpentin von der Grube „Hülfe Gottes" nickelhaltigen Magnetkies eingeschlossen enthalte.

R. Ludwig (17) erwähnt in den Erläuterungen zur Sektion Gladenbach „Olivinhyperit" von verschiedenen Punkten, unter anderen auch von den schwarzen Steinen bei Wallenfels und

Digitized by Google

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

„Hyperit-Serpentin“ aus der Gegend von Nanzenbach, bestreitet aber den Zusammenhang dieser Serpentine mit dem Olivinhyperit, in dessen Umgebung sie gänzlich fehlen sollen. Die an den schwarzen Steinen auftretenden Serpentine hat er für Jaspis und dergleichen gehalten. Auch unseren Palaeopikrit von Mornshausen a. d. Dautphe schildert er eingehender (17, b), betont aber ausdrücklich den gänzlichen Mangel an Serpentin und hält auch hier die Ausscheidungen auf den Klüften für Hornstein und Jaspis ähnliche Mineralien, unter denen sich auch ein Chrysotil ähnliches gefunden habe. Wie so viele andere, so sind auch diese Bemerkungen Ludwig's nur zum kleineren Theil richtig.

Das von Mösta (18) als neu beschriebene Gestein von Oberdieten ist weiter nichts, als ein Palaeopikrit, wie der von den schwarzen Steinen.

Im Jahre 1877 haben Angelbis (19) und Oebbeke (20) sich mit dem nassauischen Palaeopikrit näher beschäftigt.

Angelbis erwähnt als Bestandtheile desselben stark serpentinisirten Olivin, Augit, braunen Glimmer, zersetzten Feldspath, Magneteisen mit wenig Titaneisen und sehr spärlichen Apatit. Als Fundorte werden angeführt Eierhausen, Quotshausen, Ober- und Niederdieten und Burg nördlich von Herborn.

Die Analyse des Gesteins von Burg (I) und Niederdieten (II) ergab:

| | I. | II. |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 40,37 | 39,56 |
| $Al_2O_3$ | 9,86 | 8,47 |
| $Fe_2O_3$ | 4,76 | 5,36 |
| $FeO$ | 8,34 | 10,32 |
| $CaO$ | 4,74 | 4,91 |
| $MgO$ | 21,63 | 24,82 |
| $K_2O$ | 0,82 | nicht bestimmt |
| $Na_2O$ | 3,61 | |
| $H_2O$ | 5,04 | 5,05 |
| | 99,17 | |

Die ausführlichste Untersuchung über den nassauischen Palaeopikrit ist die von Oebbeke. Es werden hier die Gesteine von den schwarzen Steinen bei Wallenfels und der ehemaligen Nickelerzgrube „Hülfe Gottes“ bei Nanzenbach nach ihrer mineralogischen Zusammensetzung beschrieben, von beiden

Digitized by Google

Bauschanalysen mitgetheilt, und von den Bestandtheilen des ersteren Gesteins der „Chromdiopsid“ und der Olivin und weiterhin ein in den Klüften desselben Gesteins auftretender Serpentin analysirt.

Als Bestandtheile werden angeführt: verschieden stark zersetzter Olivin, durch einen hohen Kalkgehalt ausgezeichnet, kupfer- bis tombakbrauner Glimmer, intensiv lauchgrüner Chromdiopsid in unförmlichen Körnern, Hypersthen, Picotit, Magneteisen und Magnesit. Feldspath soll ganz fehlen.

Die Ausscheidungen auf den Klüften, Serpentin, sind hellgrün bis gelblich grau, von muschligem Bruch, an der Zunge klebend. H. = 2. Wird von Salzsäure unter Abscheidung pulveriger Kieselsäure zersetzt.

Die Analyse des Olivins (I), Chromdiopsids (II) und des Serpentins (III) ergab folgende Zusammensetzung:

| | I. | II. | III. | |
|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 42,531 | 50,443 | 42,878 | |
| MgO | 35,682 | 17,418 | 32,220 | |
| CaO | 14,088 | 14,629 | 0,095 | |
| FeO | 6,483 | 9,696 | 4,821 | 8,3 FeO |
| $Fe_2O_3$ | — | — | 3,866 | |
| $Cr_2O_3$ | — | 1,403 | — | |
| $Al_2O_3$ | — | 5,105 | 1,832 | |
| $H_2O$ | — | — | 14,214 | |
| NiO | — | — | Spur | |
| | 98,784 | 98,694 | 99,926 | |

Die Bauschanalyse des Palaeopikrits von den schwarzen Steinen (I) und des von der Grube „Hülfe Gottes“ (II) ergab:

| | I. | II. |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 39,103 | 41,311 |
| MgO | 29,176 | 21,380 |
| CaO | 3,951 | 3,279 |
| NiO | 0,126 | 0,666 |
| MnO | 0,276 | 0,378 |
| FeO | 11,441 | 7,339 |
| $Fe_2O_3$ | 4,315 | 13,892 |
| $Al_2O_3$ | 4,940 | 2,432 |
| $Cr_2O_3$ | 0,446 | 1,251 |
| $H_2O$ | 5,669 | 7,124 |
| $FeS_2$ | — | 0,776 |
| | 99,479 | 99,828 |

Digitized by Google

Ausserdem in I Spuren von Cu, Bi, Co, S, $P_2O_5$, $CO_2$, $K_2O$, in II von $CO_2$, $P_2O_5$, Cu, Co, Bi. Ein Vergleich mit den oben angeführten Analysen der Palaeopikrite von Burg und Niederdieten zeigt, dass sie in der Zusammensetzung mit diesen im wesentlichen übereinstimmen.

Als weitere Fundorte des Palaeopikrit führt Oebbeke an: Tringenstein, wo sich auch Kieselsäure als Hornstein abgeschieden hat, Oberscheld, Niederdieten, die Grube Hachelbach und schliesslich Mornshausen a. d. Dautphe, von wo er ein von Herrn Professor Streng mitgetheiltes Stück Chrysotil besonders erwähnt.

Ferner findet sich Palaeopikrit bei Mornshausen a. d. Salzböde, südöstlich von Gladenbach. Fischer (22 p. 44) erwähnt von diesem Fundort einen Serpentin, es ist mir aber nicht bekannt, ob hier Serpentin als Ausscheidung auf Klüften vorkommt; eine Verwechslung mit Mornshausen a. d. Dautphe wäre ja leicht möglich.

Die Verbreitung des Palaeopikrits in Nassau ist, wie aus dem Mitgetheilten hervorgeht, eine nicht geringe; Möhl (21) will das Gestein an 45 Punkten aufgefunden haben.

Nach diesen Vorausschickungen wenden wir uns nun zu unserer eigentlichen Aufgabe.

## I. Palaeopikrit,

### das Muttergestein der Neubildungen.

Der Fundort unseres Palaeopikrits liegt zwischen Mornshausen a. d. Dautphe und Amelose im hessischen Hinterland, nicht weit von dem Städtchen Biedenkopf und ist von Friedensdorf, einer Station der Bahn Cölbe—Laasphe, etwa 3½ km. entfernt, von Marburg aus demnach sehr leicht zu erreichen. Da es, wie erwähnt, südöstlich von Gladenbach ein zweites Mornshausen giebt, wo vielleicht auch Serpentine vorkommen, so werde ich unseren Fundort mit Amelose bezeichnen.

Der Palaeopikrit bildet hier ein den devonischen Schichten eingeschaltetes Lager, dessen Liegendes Kieselschiefer, dessen Hangendes ein quarziger Sandstein, von Feldspathdiabas durchbrochen, ist, und das an drei Stellen durch Steinbrüche in ausgezeichneter Weise aufgeschlossen ist. Der erste Steinbruch liegt bei Friedensdorf im Walde oberhalb des Weges

Digitized by Google

nach Mornshausen, der zweite im Walde direkt über Mornshausen, der dritte etwa fünf Minuten hinter Mornshausen an der Landstrasse nach Gladenbach. Die beiden ersten sind noch in Betrieb und liefern Material zu Fundamenten, Thürschwellen, Prellsteinen u. dergl., der dritte Steinbruch ist verlassen, weil das Gestein zu mürbe ist; dieser wird uns hauptsächlich beschäftigen.

Die Farbe des frischen Gesteins ist schwarz-grün, es überzieht sich aber bald mit einer dunkelbraunen Verwitterungsrinde, welche von weitem das Gestein schwarz, wie ausgebrannt erscheinen lässt. Bei fortschreitender Verwitterung zerfällt das Gestein in feinen, braunen Grus, der wohl gelegentlich als Gartensand Verwendung findet.

Während das Gestein in den beiden ersten Steinbrüchen verhältnissmässig wenig zerklüftet ist und in den Klüften keine Neubildungen enthält, ist es in dem an der Landstrasse gelegenen Steinbruch von unzähligen, bald breiteren, bald schmäleren meist annähernd vertikalen Klüften durchzogen, die nun nicht leer, sondern mit den unten zu beschreibenden Neubildungen ausgefüllt sind, von denen namentlich der Pikrolith durch seine hellgrüne Farbe von dem dunklen Gestein sich abhebt und, schon von weitem sichtbar, hervortritt.

Von den Bestandtheilen des Gesteins erkennt man mit unbewaffnetem Auge leicht glänzende, braune Blättchen von Biotit, zahlreiche weisse Punkte werden von Feldspath gebildet, grössere glänzende Flächen sind Spaltflächen des Augits; Serpentin durchzieht vielfach in feinsten Adern das Gestein. Eingesprengt findet man bisweilen Kupferkies in grösseren Körnern.

Unter dem Mikroskop erkennt man serpentinisirten Olivin, Augit, Biotit, Feldspath und undurchsichtige Durchschnitte, die von Magneteisen und Picotit gebildet werden.

Der Olivin war ursprünglich in regelmässig begrenzten Krystallen ausgebildet, man erkennt noch jetzt deutlich sechs- und achtseitige Umrisse. Hierdurch unterscheidet sich der Olivin des Palaeopikrits wesentlich von dem des eigentlichen Olivinfelses, Dunit und Lherzolith und der in den Basalt eingeschlossenen Bruchstücke, in welchen er immer in unregelmässigen Körnern vorkommt.

Digitized by Google

Der Olivin ist niemals mehr ganz frisch, sondern befindet sich in den verschiedensten Stadien der Umwandlung zu Serpentin. Die Art der Umwandlung ist im allgemeinen die bekannte und häufig beschriebene, jedoch kommen geringe Verschiedenheiten vor. Bei vielen Krystallen geht der Process der Serpentinisirung in normaler Weise vor sich: der Olivin wird längs der Risse in Serpentin umgewandelt, und Erz in feinvertheiltem Zustand in der Mitte der Serpentinbänder abgelagert; bei andern Krystallen hat sich Erz in grösserer Menge auf den Rissen des Olivins abgesetzt, bisweilen in solcher Menge, dass von einer Serpentinausfüllung kaum etwas zu sehen ist.

Bei andern Krystallen ist die Umwandlung eine etwas andere: sie schreitet nicht auf den Rissen im Olivin vorwärts, sondern ziemlich gleichmässig von aussen nach innen, und in diesem Falle ist der neu entstandene Serpentin eigenthümlicher Weise in dem ganzen Bezirk des ursprünglichen Krystalls gleich orientirt, und zwar so, dass er gleichzeitig mit dem Olivin im Innern vollständig über die ganze Oberfläche hin auslöscht und sich überhaupt verhält wie ein einheitliches Individuum. Würde der äussere Umriss, der Olivinkern im Innern und die eingestreuten Erzpartikelchen nicht auf den Ursprung hinweisen, man könnte leicht dies für etwas Anderes halten. Übergänge zwischen beiden Zersetzungsarten kommen vor, so dass z. B. ein breiter Rand des Krystalls aus einheitlich orientirtem, mit dem Olivinkern gleichzeitig auslöschendem Serpentin besteht, während der Kern von den Serpentinmaschen in der gewöhnlichen Art durchzogen wird.

Der auf diese Weise entstandene Serpentin ist immer krystallinisch und wirkt auf das polarisirte Licht, häufig allerdings sehr schwach, da durch Übereinanderlagerung nicht paralleler feinster Fasern Compensation entstehen kann; es herrscht immer eine Tendenz zur Faserbildung und die Richtung der Fasern ist in der Regel normal zu der Unterlage. Die kleinste optische Elasticitätsaxe fällt immer mit der Faserrichtung zusammen.

Zu den besprochenen Umwandlungserscheinungen kommt noch eine weitere hinzu: fast ein jeder Olivinkrystall ist gegen das Gestein hin von einer schmalen Zone farblos er-

Digitized by Google

scheinender Substanz abgegrenzt, die, wie man bei starker Vergrösserung erkennt, faserig ist, aber mit einer den Umgrenzungselementen des Krystalls parallelen Faserrichtung, so dass ein jeder Krystall gleichsam übersponnen zu sein scheint. Die Richtung der Faserung ist nicht normal zur Unterlage, sondern ihr parallel, da aber auch hier die kleinste optische Elasticitätsaxe in die Richtung der Faserung fällt, so dürfte diese Substanz gleichfalls dem Serpentin angehören. Das Bild der Olivine ist somit äusserst wechselnd und anziehend.

Was die chemische Zusammensetzung anbetrifft, so konnte ein nicht unbeträchtlicher Kalkgehalt auf mikrochemischem Wege nachgewiesen werden. Aus der weiter unten angeführten Analyse des in Salzsäure löslichen Theils des Gesteins geht hervor, dass man für den Olivin einen ähnlich hohen Kalkgehalt annehmen kann, wie ihn Oebbeke für den Olivin des Palaeopikrits der schwarzen Steine nachgewiesen hat, also etwa 14 %[1].

Der Augit ist entweder ebenfalls in rings umgrenzten Krystallen oder in unregelmässigen Körnern ausgebildet und ist jünger wie der Olivin, den er häufig umschliesst. Die Spaltbarkeit nach dem Prisma ist immer deutlich zu erkennen; in Schnitten aus der Prismenzone zeigt sie sich als ein System paralleler Risse; die Auslöschungsschiefe in solchen Schnitten ist je nach der Lage dieser verschieden und geht häufig über 40° hinaus; je grösser die Auslöschungsschiefe ist, um so näher ist der Krystall in der Richtung der Symmetrieebene durchschnitten. Schnitte annähernd normal zu der Prismenzone haben einen achtseitigen scharfen Umriss, die Spaltrisse schneiden sich unter nahezu 90°. Einzelne solcher achtseitigen Durchschnitte löschen im parallelen polarisirten Licht in keiner Lage aus und zeigen keine Interferenzfarben; im convergenten Licht lassen sie den Austritt einer Axe mit mehreren Ringen um den Axenpunkt sehr schön erkennen. Die Ursache der unvollkommenen Auslöschung in solchen Schnitten beruht, wie Kalkowsky gezeigt hat, auf innerer conischer Refraktion.

[1] Ein Versuch, den Olivin von den andern Bestandtheilen zu trennen, gelang nicht, da er dasselbe specifische Gewicht hat wie der Augit.

Digitized by Google

Die Farbe des Augits im Dünnschliff ist licht caffeebraun bis fast farblos, Dichroismus äusserst schwach. Einschlüsse ausser Olivin wurden nicht beobachtet; der eingeschlossene Olivin ist in derselben Weise serpentinisirt wie der frei liegende.

Auch an dem Augit bobachtet man häufig eine Zersetzung, und zwar zu Biotit. Der Process geht, beispielsweise an einem Schnitt aus der Zone des Spaltungsprismas, in der Weise vor sich, dass der Augit am Rande und längs der Spaltrisse braun und hiermit zugleich dichroitisch wird; denn die braune Farbe tritt nur dann deutlich hervor, wenn die Spaltrisse dem Hauptschnitt des Polarisators parallel sind, im andern Falle zeigt der umgewandelte Theil dieselbe Farbe, wie der frische Augit, weshalb in dieser Stellung die begonnene Umwandlung nicht ohne weiteres zu erkennen ist. Dagegen heben sich bei gekreuzten Nicols beide Theile sehr deutlich von einander ab, indem beide zwar einheitlich polarisiren, aber verschiedene Auslöschungslage haben: der Augit löscht schief zu den Spaltrissen aus, der Glimmer gerade. Man könnte nun vielleicht vermuthen, hier läge eine Parallelverwachsung von Glimmer und Augit vor, aber hiergegen spricht die Thatsache, dass die Spaltrisse des Augits ununterbrochen und ebenso grob wie im Augit durch den Glimmer hindurchsetzen.

Ausser diesem unzweifelhaft secundären Biotit findet man andere Blättchen, die mit dem Augit in keinem nachweisbaren Zusammenhang mehr stehen, die aber doch wohl alle als secundär bezeichnet werden müssen, da ihre Häufigkeit mit der Frische des Augits stetig abnimmt, so dass in dem Gestein aus dem ersten Steinbruch bei Friedensdorf, in dem der Augit noch frisch und nie in Glimmer umgewandelt ist, der Glimmer überhaupt fehlt, während er in dem Gestein der beiden andern Steinbrüche gar nicht selten ist, hier aber auch die Umwandlung des Augits in Biotit beobachtet werden kann, und zwar wieder am besten in dem an der Landstrasse anstehenden Gestein.

Eine Zersetzung von Augit zu Biotit ist schon mehrfach beschrieben worden; so durch Blum ein Augit aus dem Fassathal[1], ein anderer von Monroe, Orange Co. New York[2]; durch

[1] Pseudomorphosen I. Nachtrag p. 30.

[2] Ebenda. III. Nachtrag p. 93.



Digitized by Google

v. Richthofen[1] ein in Rubellan umgewandelter Augit aus Südtyrol, durch Tschermak[2] Augit in grünen Biotit umgewandelt aus dem zersetzten Gestein von Itschina. Ausserdem hat kürzlich Rohrbach[3] an Augit des Teschenits von Dzingelau die Umwandlung in Biotit beschrieben und abgebildet. Immerhin gehört eine derartige Umwandlung zu den Seltenheiten.

Der Biotit ist dunkelbraun, glänzend und makroskopisch am leichtesten von allen Bestandtheilen zu erkennen. In Schnitten schief oder senkrecht zu dem Blätterbruch zeigt er sehr starken Dichroismus: dunkelbraun, wenn die Fasern dem Hauptschnitt des Polarisators parallel, hellgelb, wenn sie senkrecht hierzu sind.

Sowohl der mit Augit noch in Zusammenhang stehende, wie der andere Biotit ist nun niemals mehr ganz frisch, sondern immer mehr oder weniger verändert: Das Mineral wird am Rande aufgefasert und die dunkelbraune Farbe geht in dunkelgrün über, die Stärke des Dichroismus bleibt aber dieselbe, die dunkelgrünen Theile werden in derselben Lage hellgrün, wo die dunkelbraunen gelb werden. Die Polarisation ist anfangs noch einheitlich, wird aber bald zu Aggregatpolarisation, und schliesslich ist der Glimmer in ein wirres Haufwerk feinster Fasern zerfallen, die in Serpentin eingebettet sind und mit ihm ein unauflösbares verfilztes Aggregat darstellen. An dem Platz, wo ein Glimmerblättchen gelegen hat, bleibt nur ein Haufwerk von Erzpartikeln zurück.

Der Feldspath ist ein trüber Plagioklas, der in regellos begrenzten Körnern ausgebildet ist und die Zwischenräume zwischen Olivin und Augit ausfüllt.

Den Picotit erkennt man am besten nach Behandeln des Gesteinspulvers mit Salzsäure in dem unzersetzt gebliebenen Rest. Die glänzenden schwarzen Körner geben mit Borax eine smaragdgrüne Perle.

Das Magneteisen gab nur die Eisenreaktion. Titansäure wurde nicht gefunden.

Die chemische Zusammensetzung wurde von dem in Salz-

[1] Wien. Akad. 27, p. 335. 1858. Blum, Pseudomorphosen. III. p. 96.
[2] Porphyrgest. Österreichs. Wien 1869.
[3] Tschermak's Min. u. petr. M. 1885. VII. p. 27.

Digitized by Google

säure löslichen Theil zu ermitteln gesucht[1]; es lösten sich im ganzen 90,47 %, ungelöst blieben zurück: Augit, Glimmer, Feldspath und Picotit.

Die Zusammensetzung des löslichen Theiles war:

38,16 $SiO_2$. 23,86 $Fe_2O_3 + Al_2O_3$. 26,64 MgO. 3,02 CaO. 8,54 Glühverlust.
Sa. = 100,22.

Der Glühverlust wurde ganz auf den löslichen Theil bezogen und daher hierher gerechnet, da die in Salzsäure unlöslichen Bestandtheile durch das Glühen nicht wesentlich verändert werden; er beträgt für das ganze Gestein 7,72 %. Verrechnet man den Glühverlust als Wasser auf Serpentin, so würde das Gestein aus 59 % Serpentin bestehen; dieser würde von den obigen Werthen 28,5 % Kieselsäure verlangen, für den Olivin blieben demnach 9,6 % $SiO_2$ zurück, welche bei Zugrundelegung der von Oebbeke ermittelten Zusammensetzung 1,5 FeO, 8,0 MgO und 3,1 CaO binden würde. Für den Serpentin würden demnach 18,6 MgO von den obigen Werthen übrig bleiben, zu denen noch 9,9 FeO hinzukommen müssen. Es entfallen also auf den Serpentin (I) und den Olivin (II) von obigen Werthen:

| | I. | II. |
|---|---|---|
| $SiO_2$ . . . . . | 28,5 | 9,6 |
| FeO . . . . . | 9,9 | 1,5 |
| CaO . . . . . | — | 3,1 |
| MgO . . . . . | 18,6 | 8,0 |
| $H_2O$ . . . . . | 8,5 | — |
| | 65,5 | 22,2 |

Wie oben erwähnt, würde das Gestein aus 59 % Serpentin bestehen, und da 90 % löslich sind in Salzsäure, so würde der lösliche Theil aus 65,49 % Serpentin bestehen, womit das oben gefundene Resultat übereinstimmt. Der Serpentin würde einen Eisengehalt von 15 % haben, also einen höheren als die unten analysirten.

[1] Die Analysen, mit Ausnahme der des Pikroliths und des Kalkspathes, sind, ebenso wie alle übrigen Untersuchungen, von mir im hiesigen mineralogischen Institut ausgeführt worden.



Digitized by Google

## II. Die Neubildungen.

### Gemeiner Serpentin und Siliciophite.

Unmittelbar an den Palaeopikrit schliesst sich der gemeine Serpentin an, der sich besonders in Nestern findet. Unter gemeinem Serpentin verstehe ich, wie SCHRAUF alle den, der sich noch an derselben Stelle findet, wo er entstanden ist und daher die noch nicht zersetzten Mineralien eingeschlossen enthält; es ist also in unserem Falle ein Palaeopikrit, dessen Olivin vollständig umgewandelt ist.

Die Mikrostruktur des gemeinen Serpentins ist bekannt und auch oben bei dem Olivin besprochen worden. Es sei hier nur hervorgehoben, dass man neben den mehr oder weniger parallelfaserigen Aggregaten der Schnüre auch sehr schöne radialfaserige findet, welche bei gekreuzten Nicols das schwarze bei dem Drehen des Präparats feststehende Kreuz zeigen; wir finden so in dem gemeinen Serpentin, nicht immer, aber bisweilen die Struktur seiner Varietäten vereinigt.

Die Analysen des Serpentins und seiner Varietäten führen zu einer Formel, der die theoretische Zusammensetzung: 43,48 $SiO_2$ . 43,48 MgO . 13,04 $H_2O$ entspricht. Das Wasser betrachtete man früher als sogenanntes Krystallwasser und schrieb demnach die Formel: $Mg_3Si_2O_7 + 2$ aq. Nachdem aber RAMMELSBERG[1] gefunden hatte, dass die eine Hälfte des Wassers bei schwachem Glühen, die andere erst nach stärkerem Glühen weggehe, schrieb man mit ihm die Formel: $H_2Mg_3Si_2O_8 +$ aq. Da aber doch Rothgluth dazu gehört, um die erste Hälfte des Wassers auszutreiben, so scheint es wohl kaum erlaubt, dies als sog. Krystallwasser anzusehen, ganz abgesehen davon, dass der Unterschied in der Temperatur, bei der je eine Hälfte weggeht, ein geringer zu sein scheint. Ich habe gefunden, dass der Serpentin bei schwacher Rothgluth des Tiegels, ohne dass der Serpentin selbst glühte, 3 Procent, bei etwas stärkerem und langem Glühen aber alles Wasser verlor. Die drei zuerst weggegangenen Procente mögen wohl von der an der Aussenseite des Tiegels liegenden Substanz stammen, die ja stärker erhitzt wird, als die in der Mitte. Es scheint mir daher gerechtfertigt, die Formel:

[1] Deutsche Geol. Ges. 21. p. 97. 1869.

Digitized by Google

$H_4 Mg_3 Si_2 O_9$ zu schreiben, wie es auch GROTH[1] und BAUER[2] thun.

Mit dem gemeinen Serpentin zusammen und mit ihm durch alle möglichen Übergänge verbunden finden sich Gesteine, die wir mit SCHRAUF (l. c.) Siliciophite nennen. Der Serpentin wird immer mehr und mehr mit Kieselsäure imprägnirt, bekommt stellenweise ganz das Aussehen von Chalcedon mit nieriger Oberfläche und nimmt an Härte zu, so dass er Glas ritzt. Mit fortschreitender Imprägnation werden die vom Palaeopikrit abstammenden Mineralien seltener und in manchem Schliff findet man nur noch ganz vereinzelte Reste namentlich von Glimmer, weniger von Augit. Die ganze Masse verhält sich im polarisirten Licht wie ein höchst feines Aggregat, ohne irgend eine Regelmässigkeit in der Anordnung der kleinsten, polarisirenden Theilchen. Stellenweise findet man noch kleine Partieen von Serpentin mit deutlicher radialfaseriger Pikrolithstruktur rings von der Grundmasse eingeschlossen, wie Inseln vom Meer. In zahlreichen Buchten und tiefen Einschnitten dringt die Grundmasse von allen Seiten gegen das Innere des Serpentins vor, Magnesia wegführend und Kieselsäure ablagernd, den Process der Umbildung deutlich vor die Augen des Beobachters führend. Das Endprodukt würde ein Chalcedon sein, den wir aber in diesem Zusammenhang hier nicht finden, sondern nur mit Quarz zusammen auf Spalten.

Hiermit verlassen wir die an dem Ort ihrer Entstehung befindlichen Neubildungen und wenden uns zu denen, welche in Spalten auftreten und aus einer Lösung hier abgesetzt sein müssen, zunächst zu den Varietäten des Serpentins.

Zu dem Serpentin müssen der chemischen Zusammensetzung nach eine Anzahl Mineralien gerechnet werden, die von den Forschern, welche sie zuerst untersucht haben, mit mehr oder weniger Recht mit besonderen Namen belegt worden sind und seitdem in den Lehrbüchern unter dem Serpentin angeführt werden, während doch den meisten von ihnen bei einer kritischen Prüfung die Berechtigung zu einem besonderen Namen kaum zugestanden werden dürfte. So hat

[1] Tabellarische Übersicht. 2. Aufl.

[2] Lehrbuch der Mineralogie. p. 455.

Digitized by Google

schon Websky (5) erkannt, dass der Hydrophit weiter nichts als ein mit Magneteisen verunreinigter Serpentin (Metaxit) sei, derselben Ansicht ist Fischer (22), welcher auch den Jenkinsit als einen mit Magneteisen verunreinigten Serpentin erkannt hat; der Marmolith ist nach den übereinstimmenden Ansichten von Volger (4) und Websky eine Pseudomorphose wahrscheinlich nach Brucit. Baltimorit ist ein eisenreicher Chrysotil, der durch einen geringen Nickelgehalt grüne Williamsit ist nach meinen Beobachtungen ein Pikrolith; Antigorit dürfte wegen seines blättrigen Gefüges und kleinen Axenwinkels kaum eine Varietät des Serpentins sein, sondern eher eine Pseudomorphose, vielleicht nach dem Chlorit eines ursprünglichen Chloritschiefers, der Retinalith enthält für Serpentin zu viel Wasser u. s. f. Eine gründliche Sichtung aller dieser Varietäten wäre erwünscht, ist aber nur an der Hand von Material mit unzweifelhaft sicherem Fundort möglich.

Die am ehesten noch aufrecht zu erhaltenden Varietäten sind der Chrysotil, der Metaxit und der Pikrolith, welche wir auch bei Amelose finden und die uns daher im folgenden beschäftigen werden.

Bei dem Studium der Litteratur fand ich, dass auch bezüglich dieser Varietäten vielfach Unklarheit und Verwirrung geherrscht haben und zum Theil noch herrschen. Ich habe daher mich bemüht, an der Hand der Quellen die Angaben, soweit es angieng, klar zu stellen, und die drei Varietäten möglichst scharf gegen einander abzugrenzen. Zum Vergleich stand mir, ausser dem Material der hiesigen Universitätssammlung, eine Collection der Reichensteiner Serpentine von dem Berliner mineralogischen Museum zu Gebote, die Herr Geh. Rath Websky zu diesem Zwecke geliehen hatte, und eine grosse Anzahl von Serpentinproben ebenfalls von Reichenstein, die Herr Geh. Rath F. Römer zu Breslau dem hiesigen Institut zum Geschenk gemacht hat. Herrn Geh. Rath Römer spreche auch ich hierfür meinen wärmsten Dank aus und bin betrübt, es Websky gegenüber nicht mehr thun zu können.

## Chrysotil.

Der Chrysotil oder, wie er früher genannt wurde, der schillernde Asbest oder Serpentinasbest ist durch seine ausge-

Digitized by Google

zeichnete Feinfaserigkeit die am besten charakterisirte Varietät des Serpentins; nur die feinfaserigen Varietäten werden hierher gerechnet, die stengeligen zum Metaxit gestellt; die Fasern des Chrysotils sind biegsam, wie Faden, die Stengel des Metaxits sind starr.

v. Kobell hat die erste Analyse des „schillernden Asbests" von Reichenstein ausgeführt (23) und folgende Zusammensetzung gefunden:

43,50 $SiO_2$. 2,08 FeO. 0,40 $Al_2O_3$. 40,00 MgO. 13,80 $H_2O$. Sa. = 99,78.

Er giebt hierbei an, dass die Kieselsäure bei dem Aufschliessen mit concentrirter Salzsäure in der Form der Fasern mit seidenartigem Glanze zurückbleibt, ein Verhalten, das ich bei meinen Untersuchungen bestätigt gefunden habe. Dadurch, dass die Fasern, ein wenig zusammengeballt, in der Flüssigkeit suspendirt sind, hat es den Anschein, als ob die Kieselsäure sich schleimig absondere, was aber in Wirklichkeit nicht der Fall ist. Die diesbezüglichen Angaben über eine schleimige Absonderung der Kieselsäure dürften daher auf einer Täuschung beruhen.

Den Namen Chrysotil hat v. Kobell erst später im Jahre 1843 (24) unserem Mineral beigelegt, um schon durch den Namen die Verschiedenheit vom Asbest, wozu es früher gerechnet wurde, auszudrücken.

In demselben Jahre veröffentlichte Thomson (25) eine Analyse des Chrysotils von Baltimore, nennt ihn aber, da ihm der Namen Chrysotil noch nicht bekannt sein konnte, Baltimorit. Die Zusammensetzung desselben:

40,95 $SiO_2$. 1,50 $Al_2O_3$. 10,05 FeO. 34,70 MgO. 12,60 $H_2O$. Sa. = 99,80.

weicht von der anderer Serpentine durch den hohen Eisengehalt ab, stimmt aber gerade hierin mit dem Chrysotil von Amelose überein.

Zum Chrysotil muss der Beschreibung nach auch der von E. Schmidt (27) analysirte „Asbest" von Zöblitz gerechnet werden. Die Zusammensetzung desselben:

43,70 $SiO_2$. 2,76 $Al_2O_3$. 10,03 FeO. 29,96 MgO. 1,98 $Na_2O$. 12,27 $H_2O$. Sa. = 100,70.

stimmt in dem hohen Eisengehalt mit der des vorigen überein. Das spec. Gew. wird zu 2,60—2,65 angegeben.

Digitized by Google

Von andern Chrysotilen, deren Zusammensetzung bekannt geworden ist, sei hier noch der von Goujot bei Elayes in den Vogesen erwähnt, der nach Delesse (26) folgende Zusammensetzung hat:

41,48 $SiO_2$. 0,42 $Al_2O_3$. 1,69 FeO. 42,61 MgO (aus d. Diff. best.). 13,70 $H_2O$.

Das spec. Gew. giebt Delesse zu dem auffallend niederen Werthe von 2,219 an und erklärt dies durch die Annahme, dass Chrysotil und Serpentin zwei dimorphe Modifikationen derselben chemischen Verbindung seien. Dies ist aber doch wohl nicht zutreffend, es scheint mir vielmehr wahrscheinlicher, dass dieser Chrysotil nicht mehr frisch gewesen sei. sondern schon Wasser aufgenommen und sich dem später zu betrachtenden neuen Mineral genähert habe. Ausser dem geringen spec. Gew., das sonst kaum zu erklären sein dürfte. spricht für diese Annahme die Angabe von Delesse, dass der lichtölgrüne Chrysotil durch Lufteinwirkung undurchsichtig und weisslich wird; er verliert eben hier einen Theil des Wassers.

In optischer Beziehung ist der Reichensteiner Chrysotil von Websky (28) in Schliffen parallel der Faserung, von Reusch (29) in solchen senkrecht zur Faserung untersucht worden; er ist hiernach rhombisch, die erste Mittellinie fällt in die Richtung der Fasern und ist positiv. Eine Platte senkrecht zu den Fasern giebt daher im convergenten Licht ein Axenbild, das allerdings wegen der Beschaffenheit des Materials und der Knickungen der Fasern immer etwas verschwommen ist. Der Axenwinkel in Luft wird von Reusch zu 16° 30′ angegeben, ist aber nicht durch Messung, sondern durch Vergleichung mit andern Substanzen ermittelt und war ungefähr gleich dem des Weissbleierzes. In dem Dünnschliff hat Reusch ferner geradlinige Striche beobachtet, die den Seiten eines geraden Prismas entsprechen würden, mit dessen längerer Diagonale die Richtung der optischen Axenebene zusammenfiele. Diese von Reusch als unsicher hingestellten Beobachtungen werden wir an dem Chrysotil von Amelose als richtig bestätigt finden.

Hare (30) giebt den Axenwinkel in Luft für denselben Chrysotil zu 24° an. Die von ihm angeführte Zusammensetzung:

Digitized by Google

43,047 $SiO_2$. 0,864 $Al_2O_3$. 2,257 FeO. 1,537 CaO. 41,290 MgO. 11,000 $H_2O$.

stimmt mit der von v. Kobell gefundenen nahe überein und ist offenbar richtig; es wurde aber von ihm auch nur die Kieselsäure bestimmt, die andern Bestandtheile dagegen von einem Herrn Neugebauer. Wie wir sehen werden, weichen die von Hare mitgetheilten Analysen des Pikroliths und Metaxits von allen andern bisher bekannten sehr wesentlich und auffallend ab, und bei diesen wurden alle Bestandtheile von Hare bestimmt. Bei Beurtheilung seiner Analysen dürfte dies ins Gewicht fallen.

Der Chrysotil von Amelose findet sich in Verbindung mit Pikrolith, den er in vielfach sich verzweigenden Schnüren nach allen Richtungen hin durchzieht. Die Dicke der Schnüre ist wechselnd, von weniger als einem Millimeter bis über einen Centimeter; solche Stücke stehen dem Reichensteiner Chrysotil an Schönheit in nichts nach. Die Richtung der Fasern ist, wie immer, annähernd senkrecht zu den Wänden der Schnüre. Die Fasern sind selten vollkommen gerade, meistens ein wenig geknickt und wellig gebogen, so dass bei dem ausgezeichneten Seidenglanz das Licht als wogender Lichtschein reflektirt wird. Während die langfaserigen Partien schon bei einem geringen Druck in die feinsten Fasern sich auflösen, ist der Zusammenhang bei den schmalen Bändern ein grösserer, so dass es gelang, bei der nöthigen Vorsicht Dünnschliffe parallel und normal zur Faserung herzustellen.

Die Farbe ist braun-gelb; das spec. Gew. 2,604 an vollkommen reinen und frischen Proben bestimmt; man muss zu diesem Zweck nur den mittleren Theil der Fasern verwenden und die beiden Enden vorher mit einer Zange entfernen; versäumt man dies, und bestimmt das spec. Gew. der ganzen Fasern, so bekommt man einen viel geringeren Werth; so fand ich in einem Falle nur 2,391. Es kommt dies daher, dass das Mineral am Rande Wasser aufgenommen hat, das, wie ich mich überzeugt habe, bei 100° wieder weggeht.

Ein Dünnschliff parallel der Faserung zeigte sich aus drei Lagen Chrysotil zusammengesetzt, welche durch zwei Lagen Pikrolith von einander getrennt waren; der Pikrolith wurde wiederum von feinsten Chrysotiladern durchsetzt und

Digitized by Google

ist demnach älter wie dieser, wie denn überhaupt der Pikrolith unter den mit ihm vorkommenden Serpentinen immer der zuerst gebildete ist.

Im gewöhnlichen Tageslicht wird der Chrysotil mit hellölgrüner Farbe vollkommen durchsichtig und erscheint, abgesehen von Infiltrationsprodukten zwischen den Fasern, vollkommen homogen.

Im polarisirten Licht bei gekreuzten Nicols löschen die Adern zum Theil einheitlich in ihrer ganzen Breite aus und Auslöschung tritt immer ein, wenn die Längsrichtung der Fasern mit einer Schwingungsrichtung der Nicols zusammenfällt; die kleinste optische Elasticitätsaxe fällt immer in die Richtung der Faserung. Die oben hervorgehobene wellige Biegung und Knickung der breiteren Schnüre giebt sich im polarisirten Licht in der Nähe der Auslöschungslage in ausgezeichneter Weise zu erkennen, indem ein Theil der Fasern dunkel, ein anderer noch hell ist; alsdann heben sich die einzelnen Partien in ausserordentlich plastischer Weise von einander ab und haben das Aussehen einer Reliefkarte von einer Reihe paralleler Berge mit scharfem Rücken und tief eingeschnittenen Thälern bei starker seitlicher Beleuchtung. An andern Stellen ist die Auslöschung eine sehr unregelmässig undulöse, so dass fast jedes gerade fixirte Theilchen eine andere Auslöschungslage hat, wie die benachbarten.

Eine Platte normal zu der Faserung ist immer unregelmässig zerklüftet; in den noch zusammenhängenden Theilen beobachtet man zahlreiche, ziemlich feine, unter einem Winkel von ungefähr 130° sich schneidende Risse, die zweifellos Spaltungsrisse sind und einem Prisma entsprechen; sie sind fast ebenso vollkommen wie bei der Hornblende. Das Verhalten im parallelen polarisirten Licht bietet nichts besonders Bemerkenswerthes; vollkommene Auslöschung tritt in keiner Lage ein, da der Schliff nicht sehr dünn ist und die Fasern durch das Schleifen ein wenig verbogen sein mögen.

Im convergenten Licht erblickt man das Axenbild zweiaxiger Krystalle; der Axenwinkel in Luft wurde mittelst des Glasmikrometers zu 50° bestimmt, jedoch ist dieser Werth nicht über die ganze Platte hin constant, sondern bisweilen geringer; auch ist die Richtung der optischen Axenebene eine

Digitized by Google

wechselnde, immer aber fällt diese Richtung mit der längeren Diagonale des von den Spaltrissen gebildeten Rhombus zusammen. Wenn wir die Vertikalaxe c mit der Längsrichtung der Fasern zusammenfallen lassen, so würde die Ebene der optischen Axen bc, die erste Mittellinie c positiv sein.

Die Brechungsexponenten zu bestimmen erwies sich als unausführbar. Eine Dispersion der optischen Axen ist nicht mit Sicherheit zu constatiren, jedenfalls ist sie sehr gering. Die Abweichung in der Grösse des Axenwinkels von dem Reichensteiner Chrysotil mag mit dem höheren Eisengehalt des unserigen in Zusammenhang stehen.

Unter den bei Amelose vorkommenden Serpentinen ist der Chrysotil bei weitem am seltensten; ich habe ihn nur in drei, nicht besonders schönen Stücken gefunden. Das Material zur Analyse verdanke ich der Güte des Herrn Prof. Dr. A. Streng in Giessen, welcher es in früherer Zeit, als der Steinbruch noch in Betrieb war, gesammelt und ein ausgezeichnetes Stück bereitwilligst mir überlassen hat; ich sage ihm an dieser Stelle meinen besten Dank für das Opfer.

Bei der Analyse erhielt ich folgendes Resultat:

42,54 $SiO_2$. 5,57 FeO. 4,75 $Fe_2O_3$. 3,78 $Al_2O_3$. 30,48 MgO. 13,13 $H_2O$.
Sa. = 100,25.

In einer zweiten Probe wurde die Gesammtmenge des Eisens als Oxydul zu 9,71 % bestimmt.

Der verhältnissmässig hohe Gehalt an Thonerde ist wahrscheinlich auf Infiltrationen zurückzuführen, die sich auf einer feinen, senkrecht zu den Fasern verlaufenden Spalte und von hier aus auch zwischen den Fasern abgesetzt hatten und die sich nicht vollständig entfernen liessen, wollte man nicht allzu grosse Mengen des seltenen Materials zerstören. Das Eisen ist hier, wie bei den andern analysirten Serpentinen schon zum Theil als Oxyd vorhanden, ein Zeichen, dass sie nicht mehr ganz frisch sind, was ja auch nicht zu verwundern ist, da alle Serpentine der Oberfläche entnommen sind.

Bringt man die Thonerde mit den entsprechenden Mengen Kieselsäure (4,42 %) und Wasser (1,33 %) als Kaolin (46,40 $SiO_2$ . 39,68 $Al_2O_3$ . 13,92 $H_2O$) in Abrechnung, berechnet das Eisenoxyd zu Oxydul und reducirt auf 100, so bekommt man:

Digitized by Google

| | | Quotient |
|---|---|---|
| $SiO_2$ . . . . | 42,25 | 0,704 |
| FeO . . . . | 10,89 | 0,151 |
| MgO . . . . | 33,78 | 0,844 |
| $H_2O$ . . . . | 13,08 | 0,727 |

was mit der theoretischen Zusammensetzung nahe übereinstimmt.

## Metaxit.

Der Metaxit (von *μέταξα* die rohe Seide) ist zuerst von Breithaupt (31) im Jahre 1831 als besondere Mineralspecies aufgestellt und wird von ihm schon in seiner „Vollständigen Charakteristik des Mineralsystems" zu der Familie der Ophite in die Nähe des Serpentins gestellt. Da die richtige Bestimmung des Metaxits bisweilen schwierig ist, so wird es gut sein, die von Breithaupt für den Metaxit von der Grube Zweigler bei Schwarzenberg in Sachsen gegebene Beschreibung vorerst hier anzuführen:

„Er hat Seidenglanz, eine Abart des Perlmutterglanzes, meist gering, zeigt sehr schön und rein grünlich-weisse Farbe, wird im Strich etwas glänzender und ist an den Kanten durchscheinend. Es kommen derbe Massen von gleichlaufend, oder noch gewöhnlicher von, unter einem spitzen Winkel auseinander laufend, sehr zartfaserigem Bruche, der zuweilen ins Dichte überzugehen scheint, vor. An einer Stelle, wo die Gestalt etwas äussere Oberfläche zeigt, haben die Fasern ein sammetartiges Aussehen. Die Härte ist 3—4. Wenig spröde, fast etwas milde. Nicht sonderlich schwer zersprengbar. Spec. Gew. = 2,520 nach dem Einsaugen des Wassers, was jedoch in sehr geringem Grade statt fand. Fühlt sich äusserst sanft und etwas fettig an, nimmt auch dadurch etwas an Glanz zu." Auf und zum Theil in ihm liegen Rhomboëder von Kalkspath.

Delesse (32) hat 1843 den Metaxit von Reichenstein analysirt und folgende Zusammensetzung gefunden:

42,1 $SiO_2$. 3,0 FeO. 0,4 $Al_2O_3$. 41,9 MgO. 13,6 $H_2O$.

Websky hat es schon als wahrscheinlich hingestellt (l. c.), dass das von Delesse analysirte Mineral wirklich Metaxit und nicht Chrysotil gewesen sei, und es ist auch kein Grund vorhanden, hieran irgendwie zu zweifeln. Die gegentheilige,

Digitized by Google

LIBRARY OF THE UNIVERSITY CALIFORNIA

auf das abweichende Resultat seiner Analyse gegründete Ansicht von Hare (l. c.) ist durch die von Bauer mitgetheilte, später anzuführende Analyse widerlegt worden.

Kühn hat 1846 ebenfalls den Metaxit analysirt und folgende Resultate erhalten:

| | | |
|---|---|---|
| $SiO_2$ . . . . . | 43,48 | 44,48 |
| $FeO$ . . . . . | 2,20 | 2,34 |
| $MgO$ . . . . . | 41,00 | 40,60 |
| $H_2O$ . . . . . | 12,95 | 12,35 |
| | 99,63 | 99,77 |

Dass Kühn wirklich Metaxit und nicht etwa Chrysotil analysirt hat, geht wohl unzweifelhaft aus einer Stelle hervor, wo er angiebt, dass das nicht ganz fein zerriebene Mineralpulver bei dem Behandeln mit Schwefelsäure die Kieselsäure zwar rein, aber in kleinen Fragmenten von Fasern abscheide, wie der sogenannte schillernde Asbest von Reichenstein; dieser Vergleich hätte keinen Sinn, wenn sein analysirtes Mineral „schillernder Asbest" gewesen wäre.

Einen Fundort giebt Kühn nicht an, er sagt nur: „Delesse hat Metaxit wohl von demselben Fundort analysirt." Delesse aber giebt, wie oben erwähnt, Reichenstein als Fundort an. In Dana's „A System of Mineralogy" p. 467 werden die beiden obigen Analysen ebenfalls angeführt, aber die erste unter Schwarzenberg, die zweite unter Reichenstein. Da es mir nun nicht bekannt ist, dass Kühn später noch den Fundort mitgetheilt hat, so dürfte diese Angabe dahin abzuändern sein, dass beide Analysen unter Reichenstein zu setzen sind.

Eine genaue, durch optische Untersuchung gestützte Beschreibung des Metaxits giebt Websky 1858 (24).

Bei dem zuerst beschriebenen Metaxit von der Grube Zweigler bei Schwarzenberg hebt er, wie Breithaupt, das gleichzeitige Vorkommen von Kalkspath hervor und fährt dann fort: „Die in den Kalkstein eingeschobenen Lagen bestehen aus Gruppen conoidischer Partien, welche Spuren büschelförmiger Theilbarkeit zeigen; in sehr dünnen Splittern ist das Mineral etwas durchscheinend, durch Benetzen wird die Farbe etwas dunkler, die Durchscheinenheit etwas grösser." Wegen dieser büschelförmigen Absonderung zeigt ein Schliff, rechtwinkelig gegen die Ablösung von Kalkstein hergestellt,

Digitized by Google

im parallelen polarisirten Licht ein System von zwiebelförmig-concentrischen Farben, unterbrochen von schwarzen, ebenfalls concentrischen und durch Compensation entstandenen Ringen und ausserdem noch das schwarze, beim Drehen des Präparats feststehende Kreuz radialfaseriger Aggregate.

„Der Metaxit von Reichenstein hat gleichfalls, wie der von Schwarzenberg, eine grünlich-weisse Farbe und ist nur an den Kanten durchscheinend; die einzelnen trümmerartigen Partien, in denen er vorkommt, bestehen aus Aggregaten von splittrigen, unregelmässig längswulstigen Bündeln, welche von einigen Punkten des Salbandes anfangs excentrisch auslaufen, dann aber sich unter einander ziemlich parallel legen. Diese Flaserungsbündel trennen sich sehr leicht und zerfallen bei geringem Druck wieder in dünne Splitter; alle natürlichen Ablösungsflächen haben Fettglanz und werden schwer von Wasser benetzt, sobald man aber zu schleifen beginnt, saugt das Mineral Wasser an, und wird etwas dunkler gefärbt.“ Das Ansaugen von Wasser ist nicht für den Metaxit allein charakteristisch, sondern findet sich auch bei dem Pikrolith von Amelose, und ist die Folge einer geringen Porosität dieser Mineralien.

In optischer Beziehung verhält der Metaxit von Reichenstein sich wie ein rhombisches Mineral: Eine rechtwinklig gegen die Flaserung geschliffene Platte lässt im convergenten polarisirten Licht ein „wenn auch sehr dilatirtes, doch deutlich ovales Ringsystem und die dunklen Hyperbeln mit sehr genähertem Scheitel erkennen, etwa wie eine Antigoritplatte.“ Die erste Mittellinie liegt in der Richtung der Faserung und ist die Axe der kleinsten Elasticität, der Metaxit daher ebenfalls optisch positiv.

Dies im wesentlichen die Ergebnisse der Untersuchungen Websky's.

Wie man sieht ist zwischen Chrysotil und Metaxit kein anderer wesentlicher Unterschied, als der, dass Chrysotil im höchsten Grade feinfaserig, Metaxit grobfaserig, stengelig bis beinahe dicht ist, aber auch im letzterem Falle immer Neigung zu stengeliger Absonderung zeigt. Immer aber, und dies ist wesentlich, ist jede Faser des Chrysotils und jeder Stengel des Metaxits optisch oder allgemein physikalisch ein Individuum.

Digitized by Google

Wenn daher Fischer (35) angiebt, dass er den Metaxit von Reichenstein ganz „apolar“ (nicht polarisirend) gefunden habe, so hat er gewiss keinen Metaxit unter Händen gehabt: eine Verwechslung mit Pikrolith, der manchmal sehr schwach polarisirt, ist wahrscheinlich.

In Widerspruch mit den bisher angeführten Analysen und den Beobachtungen Websky's stehen die Angaben von Hare (36) über den Metaxit.

In Bezug auf das Verhalten einer parallel der Flaserung geschliffenen Platte im parallelen Licht stimmen seine Beobachtungen mit denen von Websky überein; dagegen sind seine Angaben über das Verhalten im convergenten Licht unklar: „Diese (Websky's) Beobachtungen haben wir bei Metaxit nicht bestätigen können. Es treten wie bei Pikrolith im parallelen Lichte dunkle Kreuze auf, die bei einer horizontalen Drehung des Objekts ihre Stellung nicht verändern. Der Metaxit ist in seinem optischen Verhalten dem sphärolithischen Theile des Pikroliths vollkommen gleich.“ Da hier von dem Verhalten des Metaxits im convergenten Lichte die Rede ist, so hat man die Worte „im parallelen Lichte“ wohl nur auf den Pikrolith zu beziehen und anzunehmen, dass das dunkle Kreuz bei Metaxit im convergenten Lichte beobachtet sei; dann ist aber der angestellte Vergleich mit Pikrolith nicht statthaft, sondern vielmehr anzunehmen, dass das von Hare bei Metaxit im convergenten Licht beobachtete dunkle Kreuz die Hyperbeln des Interferenzbildes waren, deren Scheitel ja nach Websky sehr genähert sind.

Wenn dies aber so ist, so würde das von Hare als Metaxit untersuchte Mineral in optischer Beziehung sich so verhalten, wie es Websky beschrieben hat, und es ist wohl kaum einem Zweifel unterworfen, dass es Metaxit war.

Um so auffallender sind die Resultate der von Hare ausgeführten Analyse des Metaxits, die ihm folgende Zusammensetzung ergab:

43,87 $SiO_2$. 23,44 $Al_2O_3$. 5,37 FeO. 1,24 CaO. 15,18 MgO. 10,86 $H_2O$.
Sa. = 99,96.

Dies von den oben mitgetheilten Analysen abweichende Resultat führte Hare zu der Annahme, dass Kühn und Delesse nicht Metaxit sondern Chrysotil untersucht haben, die aber,

Digitized by Google

wie wir gesehen haben, nicht gerechtfertigt ist. Um den hohen Gehalt an Thonerde zu erklären, nimmt er an, der Metaxit und der Pikrolith seien verschiedene Stadien in der Zersetzung des Feldspaths zu Serpentin.

Veranlasst durch diese sich widersprechenden Angaben über die chemische Natur des Metaxits hat Bauer (37) auf's neue typischen Metaxit von Reichenstein untersucht und eine von Friederici auf seine Veranlassung ausgeführte Analyse mitgetheilt, die folgende Zusammensetzung ergab:

42,73 $SiO_2$. Spur v. $Al_2O_3$. 2,79 FeO. 0,40 CaO. 40,37 MgO. 1,52 $Na_2O$ + $Li_2O$. 12,17 $H_2O$. Sa. = 99,98.

was nur unwesentlich von den Analysen Delesse's und Kühn's abweicht. Das spec. Gew. war 2,549.

Nach alledem hat Hare entweder bei der Analyse einen Fehler gemacht (vor der Fällung des Eisens zu wenig Salmiak zugesetzt?), oder er hat, was weniger wahrscheinlich ist, etwas anderes als Metaxit analysirt und nur bei der optischen Untersuchung solchen unter Händen gehabt.

Den Metaxit können wir demnach definiren als einen stengeligen Serpentin, dessen Stengel starr sind und entweder in ihrer ganzen Längenausdehnung gerade, oder in der Mitte geknickt sind und dann einen stumpfen oder spitzen Winkel einschliessen, oder endlich, von einem Punkte ausstrahlend, conoidische Aggregate bilden.

Diese drei Ausbildungsweisen finden wir bei Amelose wieder, wo der Metaxit ziemlich häufig vorkommt, viel häufiger wie der Chrysotil, nicht so häufig wie der Pikrolith. Er findet sich entweder zusammen mit Pikrolith und Quarz in schmalen Klüften, oder in grösseren Knauern in Gesellschaft von Kalkspath, oder in feinen Schnüren im Pikrolith, wenn wir eben diese Schnüre zu dem Metaxit rechnen und nicht, wie es bisher geschieht, zum Pikrolith.

Die Stengel des Metaxits erreichen bisweilen, wenn sie gerade sind, eine bedeutende Grösse, indem sie über 15 cm. lang werden; man kann sie leicht von einander trennen und findet dann, dass sie sich nur selten direkt berühren, sondern durch eine feine graue Haut, die sich als Kalkspath erwiesen hat, getrennt werden. Diese Kalkspathhaut, welche die Stengel rings umgiebt, ist immer in der Weise orientirt, dass die

Digitized by Google

optische Axe des Kalkspaths senkrecht auf ihrer Oberfläche steht: man bekommt im convergenten Licht sehr deutlich das Axenbild des Kalkspaths.

Die einzelnen Stengel zerfallen durch Zerdrücken in immer feinere und dies geht soweit, dass man bei dem Zerreiben in der Reibschale die feinsten Nadeln erhält, die wegen ihrer Starrheit leicht in die Haut eindringen und stechen.

Die Farbe des Metaxits ist ziemlich dunkelgrün, der Glanz schwacher Seidenglanz; die Härte 3—4. Die Metaxitschnüre im Pikrolith sind grünlich-weiss wegen des geringen Eisengehaltes.

In optischer Beziehung verhält der Metaxit sich im wesentlichen ebenso, wie der Chrysotil. Ein Schliff parallel der Faserung ist im durchfallenden Licht grün mit einem Stich ins braune. Man erkennt mit dem blossen Auge eine äusserst zarte, an die Längsaxe unter einem Winkel von etwa 30° sich anlegende federförmige Zeichnung, die durch einen Wechsel in der Färbung hervorgerufen wird und wohl als zonare Wachsthumserscheinung aufzufassen ist. Es würde hierdurch eine domatische oder pyramidale Endbegrenzung angedeutet werden.

Die Masse des Metaxits ist vollkommen homogen, Einschlüsse fehlen; die erwähnten Kalkspathhäutchen überziehen die Oberfläche, ohne in das Innere einzudringen. Die grünliche Farbe geht auf Rissen, die parallel der Faserung das Mineral durchsetzen, in braun über, ein Zeichen, dass hier das Eisenoxydul in Eisenoxyd übergegangen ist.

Bei gekreuzten Nicols wird die Platte über die ganze Oberfläche einheitlich hell und löscht aus, wenn die Faseraxe mit einer Schwingungsrichtung der Nicols zusammenfällt. Die kleinste Elasticitätsaxe fällt in die Richtung der Faserung, wie bei Chrysotil.

Ein Schnitt senkrecht zu der Faserung ist nur sehr schwierig herzustellen; er zeigt dieselben Spaltrisse wie Chrysotil und verhält sich überhaupt in der Grösse des Axenwinkels u. s. w. genau wie dieser.

Zur Analyse musste der Metaxit von dem anhängenden Kalkspath befreit werden, und da es sich herausstellte, dass Essigsäure auch den Metaxit angriff, so wurde er mit Hülfe



Digitized by Google

des Methylenjodids von allen Verunreinigungen befreit und der so vollkommen rein erhaltene Metaxit analysirt; hierbei erhielt ich folgende Werthe:

41,46 $SiO_2$. 5,18 FeO. 3,99 $Fe_2O_3$. 0,27 $Al_2O_3$. 35,20 MgO. 13,63 $H_2O$.
Sa. = 99,73.

Nimmt man wieder die Thonerde als Kaolin vorhanden an, zieht sie mit den entsprechenden Mengen Kieselsäure (0,31 %) und Wasser (0,09 %) ab, berechnet alles Eisen als Oxydul und reducirt auf 100, so bekommt man:

| | | Quotient |
|---|---|---|
| $SiO_2$ . . . . | 41,71 | 0,69 |
| FeO . . . . | 8,89 | 0,11 |
| MgO . . . . | 35,68 | 0,89 |
| $H_2O$ . . . . | 13,72 | 0,76 |

was mit der theoretisch erforderten Zusammensetzung nahe übereinstimmt.

Die Knauern, in denen, wie erwähnt, der Metaxit vorkommt, haben einen Durchmesser von etwa 40 cm. und bilden, im Palaeopikrit liegend, locale Ausweitungen von nur wenige Centimeter mächtigen Klüften. Sie bestehen in ihrem peripherischen Theil aus Serpentinmasse, im Centrum aus Kalkspath, und der Metaxit liegt in regellosen Trümmern innerhalb der Serpentinmasse, in der sich ausserdem noch Magneteisen, Kupferkies, Bleiglanz und das neue Mineral, Webskyit, finden.

Die den Hauptbestandtheil der Knauer ausmachende Serpentinmasse ist eine eigenthümliche Bildung und bedarf einer kurzen Besprechung. Auf den ersten Anblick sieht man, dass es weder gemeiner Serpentin noch eine andere Varietät ist, sondern ein anscheinend trümmerartiges Gebilde darstellt, das aus hell- und dunkelgrünen Serpentinbrocken besteht, und durch grauweissen faserigen Kalkspath und hellgrünen Serpentin als Bindemittel zusammengehalten wird, während breite Adern von faserigem Kalkspath und Pikrolith die ganze Masse durchziehen; der Metaxit liegt in ihr in regellosen, bisweilen vollkommen verbogenen und verdrückten Trümmern.

Unter dem Mikroskop erkennt man in einem Dünnschliff dieser Serpentinmasse Brocken von Olivin, der hier oft in radialfaserigen Pikrolith umgewandelt ist, grobfaserigen Ser-

Digitized by Google

pentin, Glimmerblättchen, fast ganz gebleicht und in der oben beschriebenen Weise umgewandelt, regellos durcheinander liegend und alles durchschwärmt von zahllosen weissen Adern von Kalkspath, so dass man kaum ein Korn findet, das nicht rings umgeben wäre von Kalkspath. Das ganze macht den Eindruck, als sei eine zerbröckelte Masse von gemeinem Serpentin durch Kalkspath wieder verkittet.

Ausser den genannten Mineralien findet man in der Knauer Magneteisen, derb und in deutlichen eingewachsenen Krystallen von der Form des Granatoëders, Kupferkies derb, auf Rissen häufig von Webskyit durchzogen, der hier bisweilen durch Verwitterung des Kupferkieses eine grüne Farbe annimmt, und Bleiglanz derb mit deutlicher Spaltbarkeit. Es ist wohl keinem Zweifel unterworfen, dass diese Erze, ebenso wie die andern Mineralien der Knauer aus dem Palaeopikrit stammen.

Das trümmerartige Vorkommen scheint für Metaxit charakteristisch zu sein; denn auch in der erwähnten Spalte, wo er mit Quarz zusammen vorkommt, tritt er in der Weise auf, dass er mit scharfkantigen Pikrolithstücken eine Breccie bildet, deren Bindemittel der Quarz ist.

## Pikrolith.

Die in der Litteratur über den Pikrolith sich findenden Angaben sind ziemlich verworren und häufig einander widersprechend; ich habe versucht, dieselben möglichst klar zu stellen.

Der Name Pikrolith ist zuerst von Hausmann (38) für ein Mineral aus Schweden eingeführt worden, das die schwedischen Mineralogen als Grünerde bezeichneten. Obgleich er die chemische Natur desselben nicht richtig erkannte — er glaubte, der Hauptbestandtheil sei kohlensaurer Talk — so stellte er es doch nach den äusseren Kennzeichen ganz richtig in die Nähe des Serpentins.

Aus der von Hausmann gegebenen Charakteristik des Pikroliths geht hervor, dass er unter diesem Namen auch die Varietät des Serpentins mit einbegriffen hat, die wir jetzt als Metaxit von demselben abzweigen. So erkennt man in den „langsplittrigen und scharfkantigen Bruchstücken, von



Digitized by Google

denen auch die kleinsten durch das Zerschlagen erhaltenen Stücke splittrig sind und erst nach langwierigem Reiben ein Pulver geben, das im Wasser Flocken bildet," und in den „conisch abgesonderten Stücken, die so in einander gefügt sind, dass die Spitzen einiger zwischen den Basen anderer stehen" unschwer den Metaxit in seiner typischen Ausbildungsweise.

Den Pikrolith dagegen erkennen wir an dem Bruch, der von dem „ausgezeichnet grob- und langsplittrigen" (des Metaxits) „durch das Feinsplittrige auf der einen Seite in das Ebene und Flachmuschlige, auf der andern in das Versteckt-, hart- und zwar Concentrisch-Fasrige" verläuft. Auch die wellenförmig-schalige Absonderung ist für Pikrolith charakteristisch.

Der Pikrolith Hausmann's findet sich in den Magneteisensteinmassen des småländischen Tabergs, und zwar hier namentlich der eigentliche Pikrolith, und auf den Magneteisenlagern von Nordmarken in Wermland, besonders auf Brattforsgrube und auf dem Taberge.

Diese aus dem Jahre 1808 stammende Beschreibung des Pikroliths muss Breithaupt wohl nicht gekannt haben, als er im Jahre 1831 den Metaxit als besondere Species aufstellte, sonst würde ihm die grosse Ähnlichkeit beider nicht entgangen sein. Aus diesem Grunde mag es auch kommen, dass seine Charakteristik des Pikroliths (39, p. 105): „Glas- bis Fettglanz, Bruch muschlig, bisweilen zugleich splittrig", mehr mit dem übereinstimmt, was wir heute unter Pikrolith verstehen, als mit dem Pikrolith Hausmann's. Er stellt den Pikrolith vor den Magnesit und zu einer andern Gruppe, als den Metaxit und den Serpentin.

Hausmann dagegen führt in seinem Handbuch der Mineralogie 1847 den Metaxit gar nicht auf, giebt aber von dem Pikrolith, den er unter Serpentin als zweite Varietät — den faserigen — einreiht, eine Beschreibung, die man wörtlich auf den Metaxit Breithaupt's anwenden kann: „theils gleich — theils auseinander laufend zart — und mehr und weniger versteckt-faserig, seidenartig schimmernd, in Gangtrümmern, gewöhnlich mit conischen und zugleich krummschaligen Absonderungen." Es scheint demnach, als habe Hausmann den

Digitized by Google

Metaxit als besondere Species nicht anerkannt — von seinem Standpunkt aus nicht mit Unrecht.

Wenn demnach die Mineralogen selbst über die Abgrenzung von Metaxit und Pikrolith nicht einig waren, so dürfen wir uns nicht wundern, wenn ein Chemiker unseren heutigen Metaxit als Pikrolith bezeichnet, wie dies List (41) thut. Er analysirte einen Pikrolith von Reichenstein in Schlesien, der „schwach grünlich grau gefärbt war, unvollkommen stänglich abgesondert und auf frischem Bruch von einem dem Fettglanz sich näherndem Wachsglanz. Beim Zerdrücken zerfiel er leicht in feine Fasern, die schwer zu Pulver zu zerreiben waren." Dies gilt aber für unseren typischen Metaxit.

Die Zusammensetzung desselben war:

44,606 $SiO_2$. 2,631 FeO. 39,748 MgO. 12,576 $H_2O$. Sa. = 99,561.

was mit der oben angeführten zweiten Analyse Kühn's fast vollkommen übereinstimmt. Wir hätten daher diese Analyse eigentlich bei dem Metaxit bringen müssen, jedoch wegen des Zusammenhangs wurde sie hier eingefügt. Der Pikrolith List's ist Metaxit und eine Analyse des Pikroliths von Reichenstein — von der später zu erwähnenden Hare's, die nicht in Betracht kommen kann, abgesehen — nicht bekannt.

Die erste, auf das optische Verhalten gegründete Charakteristik des Pikroliths wurde wieder von Websky gegeben (42).

Nach ihm kommt der Pikrolith auf dem Serpentinlager von Reichenstein in sehr mannigfaltigen Varietäten vor, nach der einen Seite hin in Ophit, nach der andern in Chrysotil übergehend, aber immer die Ausfüllungsmasse kleiner Gänge von schalenartiger Absonderung bildend. Schief durch letztere, bald mehr, bald weniger geneigt, geht dann eine Tendenz zur faserigen Absonderung, welche in ihrem Extrem zum Chrysotil führt, während ihr Verschwinden dem Fossil das Ansehen der unter dem Namen Ophit bezeichneten Varietäten des Serpentins gewährt; letztere Varietät erscheint äusserlich fast ohne Struktur und besitzt einen muschligen matten Bruch. Die verschiedene Art der Aggregation in beiden Varietäten tritt in dem Verhalten gegen das polarisirte Licht besonders deutlich hervor und hiernach bezeichnet Websky die Struktur der faserigen Absonderungen als Pikrolithstruk-

Digitized by Google

tur, die der ophitischen als Chalcedonstruktur. Zu letzterem Namen wird er geführt durch die excentrisch-faserige Struktur, die wir später werden kennen lernen, und durch ein dem Chalcedon analoges Verhalten des Pikroliths gegen das Licht, indem ein Dünnschliff desselben im durchfallenden Licht ein blasses Braun, im reflektirten eine milchige Trübung zeigte. Aus diesem Verhalten glaubte Websky schliessen zu können, dass, wie der Chalcedon ein Gemenge von amorpher nnd krystallinischer Kieselsäure, so der Pikrolith ein Gemenge eines amorphen Serpentins mit krystallographisch parallel gestellten Gruppen von Krystall-Individuen analoger Zusammensetzung sei.

Für diese letztere Annahme habe ich bei meinen Untersuchungen keinen Anhalt gefunden; amorphe Substanz war in dem Pikrolith nicht zu beobachten. Auch das Verhalten gegen das auffallende und durchfallende Licht ist nur so lange verschieden, als der Pikrolith noch Luft einschliesst; sobald er vollständig mit Canadabalsam durchtränkt ist, hört dies auf. Es scheint mir daher einfacher, die parallelfaserigen Aggregate zu dem Metaxit zu ziehen, und nur die radialfaserigen als Pikrolith zu bezeichnen; ich werde weiter unten noch einmal hierauf zurückkommen.

Auch Hare hat sich in seiner mehrfach citirten Arbeit mit dem Pikrolith von Reichenstein beschäftigt und denselben optisch und chemisch untersucht. Aus seiner Beschreibung geht aber nur soviel mit Sicherheit hervor, dass er wirklich Pikrolith unter Händen gehabt hat; alles andere ist unklar. Die Angaben Websky's sind nicht richtig verstanden, die eigenen dunkel und einander widersprechend, und die Analyse, bei der ein Gehalt von 16,97 % Thonerde gefunden wurde, kann kaum richtig sein; es ist daher nicht nöthig, auf die speciellen Angaben hier näher einzugehen. Die an den angeblichen Thonerdegehalt des Metaxits und Pikroliths geknüpfte Annahme Hare's, diese Serpentine seien aus Feldspath entstanden und stellten verschiedene Stadien in der Zersetzung desselben dar, findet somit in den Analysen keine Stütze.

Eine Analyse eines Pikroliths, die in unserer Übersicht bisher fehlt, hat Traube (44) an dem Pikrolith von Enders-

Digitized by Google

dorf im Zobtengebirge ausgeführt und folgendes Resultat erhalten:

43,46 $SiO_2$. 2,25 FeO. 1,26 $Al_2O_3$. 40,98 MgO. 12,25 $H_2O$. Sa. = 100,20.

Den geringen Thonerdegehalt abgerechnet entspricht dies wieder der Zusammensetzung des Serpentins.

Der Pikrolith von Amelose findet sich als Ausfüllungsmasse von ungemein zahlreichen Klüften, die den Palaeopikrit nach allen möglichen Richtungen hin durchziehen, und deren Mächtigkeit eine sehr wechselnde ist; während die meisten etwa 3—5 cm. mächtig sind, finden sich auch solche, die über 10 cm. und andere, die nur wenige Millimeter mächtig sind. Der Pikrolith ist hier die am häufigsten vorkommende Serpentinvarietät und findet sich in ausgezeichnet schönen Stücken, wie ich sie von keiner anderen Lokalität kenne.

Die nach den Kluftwänden hin gekehrten Theile des Pikroliths haben Fettglanz, sind mit einer dünnen, bräunlichen Rinde überzogen und grob vertikal gestreift, wie sogenannte Rutschflächen. Mehr oder weniger schief gegen die Kluftwände gehen nach zwei Richtungen unregelmässige Absonderungsflächen hindurch, die ebenfalls mit einem braunen Häutchen überzogen sind, aber nur schwachen Fettglanz besitzen und nicht gestreift sind. Die aus den Klüften herausgelösten Stücke sind demnach parallelepipedisch und bei schmalen Klüften tafelig.

Nach Entfernung der äusseren Rinde tritt die innere Beschaffenheit zu Tage. Die Farbe ist weisslich-grün, der Bruch flachmuschlig, glatt, hier und da ins splittrige übergehend; der Glanz auf frischer Bruchfläche matt, geht aber durch Anfassen sehr bald in Fettglanz über. An der Zunge stark klebend. Härte $3\frac{1}{2}$—4, spec. Gew. = 2,551.

Die Hauptmasse des Pikroliths erscheint dem unbewaffneten Auge strukturlos; von ihr heben sich durch eine etwas hellere Färbung mehr oder weniger zahlreiche, bis 1 mm. dicke Schnüre ab, die im allgemeinen schief gegen die Kluftfläche und auch unter einander nicht parallel das Mineral durchziehen; sie sind, wie man schon mit der Lupe erkennen kann, faserig, aber die Fasern haften so fest an einander, dass die Schnüre fast dicht erscheinen; auch haben sie denselben Glanz wie die übrige Masse. Die Fasern sind senk-

Digitized by Google

recht zu den Wänden der Schnüre und den äussern Kluftwänden annähernd parallel.

Bei dem Befeuchten mit Wasser nimmt der Pikrolith solches auf und wird dunkler grün; durch Trocknen nimmt er seine ursprüngliche Farbe wieder an. Ein Dünnschliff ist, so lange er feucht ist, mit bräunlicher Farbe durchsichtig, während er im reflektirten Licht milchig getrübt erscheint; vollkommen trocken dagegen ist er selbst bei grösster Dünne fast undurchsichtig und lässt unter dem Mikroskop nicht das geringste erkennen. In Canadabalsam eingelegt wird er wieder durchsichtig, wie der befeuchtete Schliff und verhält sich gegen das durchfallende und reflektirte Licht wie dieser. Wenn man nun den Canadabalsam mit dem Schliff erwärmt, so dass der Canadabalsam dünnflüssig wird, aber nicht kocht, so bemerkt man das Entweichen von zahlreichen Luftblasen, und je länger man erwärmt, um so mehr Luftblasen entweichen und um so klarer wird der Schliff. Sobald alle Luft verdrängt ist, was immer einige Zeit dauert, ist der Schliff mit lichtölgrüner Farbe vollkommen durchsichtig geworden und der frühere Unterschied gegen das reflektirte und durchfallende Licht hat aufgehört. Der Pikrolith verhält sich demnach wie ein Hydrophan und besitzt wie dieser eine geringe Porosität.

Dieselbe Eigenschaft, bei dem Schleifen Wasser aufzunehmen, besitzt nach Websky der Metaxit von Reichenstein; Hare sieht hierin einen Beweis für das Vorhandensein eines thonerdehaltigen Silicats, was natürlich nicht richtig ist.

Um die Struktur und das optische Verhalten des Pikroliths klar erkennen zu können, wurden aus einem Stück in drei aufeinander senkrechten Richtungen Platten herausgeschnitten:

die erste normal zu der äusseren gestreiften Kluftfläche und parallel den Fasern der Schnüre (1 in der folgenden Figur 1)[1],

[1] In der Figur 1 ist schematisch ein Absonderungsstück des Pikrolith dargestellt, die seitliche gestreifte Fläche soll der gestreiften Kluftfläche entsprechen; die verschieden punktirten Linien geben die Richtungen der Schnitte 1—3 an. Die Faserschnüre sind nicht eingetragen, sie würden annähernd normal zu der gestreiften Fläche verlaufen und die Richtung der Fasern wäre mit der Richtung der Streifen in der Figur parallel.

Digitized by Google

die zweite parallel der gestreiften Kluftfläche und parallel zu den Fasern der Schnüre (2),

die dritte normal zu 1) und 2), also normal zu der äusseren Kluftfläche und zu den Fasern der Schnüre (3).

Unter dem Mikroskop ist im gewöhnlichen, nicht polarisirten Licht nicht das geringste zu erkennen; der Schliff ist vollkommen durchsichtig, fast farblos, ohne Einschlüsse, so dass man selbst bei einer starken Vergrösserung nicht merkt, wo der Schliff aufhört und das Glas anfängt. Überhaupt ist

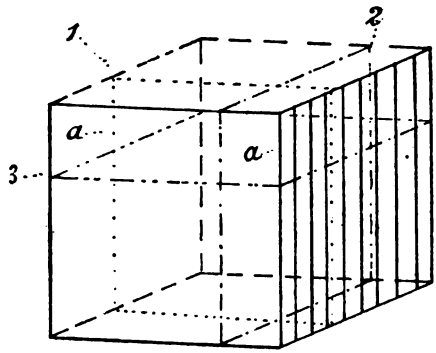



Fig. 1.

es schwer, die Umrisse des Schliffes im Canadabalsam wahrzunehmen; der Pikrolith muss daher ein dem des Canadabalsams annähernd gleiches Brechungsvermögen besitzen.

Die Struktur des Pikroliths ist dagegen überaus schön bei gekreuzten Nicols zu erkennen.

Der Schliff nach der ersten Richtung zeigt im wesentlichen die in der Figur 2[1] dargestellten Verhältnisse.

Wenn die lange Kante des Schliffs (*a* in beiden Figuren), welche die Durchschnittslinie mit der äusseren gestreiften Kluftfläche ist, mit einer Schwingungsrichtung der Nicols zusammenfällt, so erblickt man das ganze Gesichtsfeld ausgefüllt mit Schaaren von schuppenartig über einander liegenden

[1] Herr Dr. J. G. Bornemann zu Eisenach hatte die grosse Güte die Photographie, nach welcher die Abbildung angefertigt worden ist, mit seinem ausgezeichneten Apparate aufzunehmen. Ich sage ihm für die viele Mühe und Sorgfalt, die er hierauf verwendet hat, meinen besten Dank.

Digitized by Google

schwarzen Kreuzen, die zwischen sich nur wenig helle Theile übrig lassen. Die Kreuze sind aber nicht vollständig und gleicharmig, sondern ein Arm, derjenige welcher von der äusseren Kluftwand nach der Mitte der Kluft gerichtet ist, ist lang, die beiden hierzu senkrechten sind ganz kurz, und der vierte, welcher dem langen Arm gegenüber liegen würde, fehlt fast vollständig. Die Form des Aggregates, welches hierdurch angedeutet wird, ist daher im Querschnitt nicht

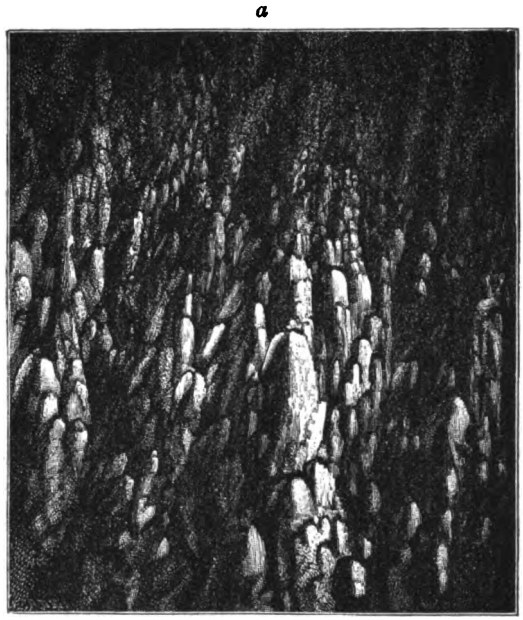



Fig. 2. Pikrolith von Amelose. Nicols gekreuzt. 1 : 20.

kreisförmig, sondern wie eine halbe Ellipse, deren lange Axe normal zu der äusseren Kante des Schliffs, also normal zu der Kluftwand ist. Dadurch, dass die Einzelaggregate bald kleiner sind, bald grösser und schuppenförmig über einander gelagert erscheinen, wird das Bild ein höchst eigenthümliches, wie es sich sonst bei keiner Substanz wieder findet.

Wenn wir nun einen solchen Schliff von seiner äusseren Kante (*a*), der Durchschnittslinie mit der Kluftfläche, verfolgen bis zur gegenüber liegenden Kante, so sehen wir, dass diese ellipsoidischen Aggregate am Rande sehr klein sind und

Digitized by Google

nur wenig auf das polarisirte Licht wirken, so dass man hier die Substanz leicht für isotrop halten könnte; eine genaue Untersuchung lässt aber die wahre, sehr klein- und feinfaserige Struktur mit Sicherheit erkennen.

Mehr nach der Mitte zu werden die Aggregate immer grösser, ihr Scheitel liegt immer nach dem Rande zu, von dem wir ausgegangen sind. In der Mitte werden die Aggregate undeutlicher, verschwommener und haben eine mehr kreisförmige Form im Durchschnitt. Weiter nach dem gegenüber liegenden Rand zu werden die Aggregate wieder elliptisch, aber nun liegt ihr Scheitel nicht mehr nach dem Rande zu, von dem wir ausgegangen sind, sondern nach dem gegenüber liegenden zu, auf den wir los gehen, die grosse Axe der Ellipse ist immer nach der Mitte hin gerichtet. Dicht an dem Rand werden die Aggregate wieder klein, wie im Anfang. Die Anordnung der Aggregate in der Platte ist symmetrisch von der Mitte aus nach den beiden äusseren Kluftflächen hin, wie in einem symmetrischen Gangstück.

Dieselbe Anordnung und Form der Aggregate finden wir in dem dritten Schliff wieder, der normal zu den Kluftflächen und zu der Faserung geführt ist.

Abweichend von beiden ist der zweite Schliff; hier finden wir keine Aggregate von elliptischem, sondern nur von kreisförmigem Durchschnitt. Hier sind eben die Aggregate nicht, wie vorher, parallel ihrer langen Axe, sondern parallel der kurzen Axe getroffen worden.

Die Form der Einzelaggregate wird durch diese drei Durchschnitte klar gestellt: es sind halbe Ellipsoide, deren Basis, wenn ich so sagen darf, immer nach der Wand der Spalte zu gerichtet ist. Man kann hieraus schliessen, dass das Wachsthum in der Weise vor sich gegangen ist, dass je ein Aggregat von der Kluftwand aus nach innen gewachsen ist, und zwar nach der Mitte hin schneller, als nach oben und unten; hatte das Aggregat eine gewisse Grösse erreicht, so wurde die nach der Mitte hin gerichtete Spitze der Ausgangspunkt eines neuen Aggregats, alle wachsen radialfaserig von aussen nach innen, aber nicht nach rückwärts, da hier kein Raum ist; daher bilden die Aggregate des in den Klüften auftretenden Pikroliths keine geschlossene Formen, son-

Digitized by Google

dern nur halbe. Bei dem Pikrolith, der sich in Nestern findet, sind alle Einzelaggregate sphäroidisch, die Durchschnitte Kreise.

Diese radialfaserige, ellipsoidische oder sphäroidische Struktur ist charakteristisch für den Pikrolith, und ich rechne nur die Serpentine, welche eine solche Struktur zeigen, zu dem Pikrolith; es ist dies die Struktur, welche Wedsky die „Chalcedonstruktur" nennt zum Unterschied gegen die „Pikrolithstruktur" der in denselben Handstücken auftretenden Schnüre.

Diese Schnüre durchziehen, wie oben hervorgehoben, die Grundmasse des Pikroliths in verschiedenen Richtungen und sind jünger wie dieser; man erkennt dies daran, dass sie häufig durch die radialfaserigen Aggregate hindurch gehen, so dass der schwarze Arm des Kreuzes an ihnen abbricht, um an der andern Seite in derselben Richtung fortzusetzen. In physikalischer Beziehung verhalten sich die Schnüre wie Metaxit; sie sind grobfaserig, starr und polarisiren über ihre ganze Ausdehnung hin einheitlich und löschen aus, wenn die Richtung der Faserung mit der Schwingungsrichtung eines Nicols zusammenfällt; bisweilen zeigen sie in ihrer Breitenausdehnung die wellenförmigen Contouren, wie ich sie beim Chrysotil beschrieben habe. Die kleinste optische Elasticitätsaxe fällt immer in die Richtung der Faserung.

Von dem Metaxit unterscheiden sich diese Schnüre einzig und allein durch ihre geringe Grösse und dies kann doch kein Grund sein, sie nicht zu diesen zu rechnen. Es wird hierdurch allerdings der Begriff des Pikroliths und Metaxits etwas verschoben, aber wie mir scheint nicht zum Nachtheil der Übersichtlichkeit, die doch bei der Aufstellung von Varietäten allein Ausschlag gebend sein sollte. Wir würden demnach die besprochenen drei Varietäten des Serpentins folgendermassen unterscheiden:

Chrysotil: feinfaserig, biegsam.
Metaxit: grobfaserig, stengelig bis beinahe dicht, starr.
Pikrolith: radialfaserig.

Der beinahe dichte Metaxit unterscheidet sich von dem Pikrolith dadurch, dass er beim Zerschlagen eine Neigung zur stengeligen Absonderung immer deutlich erkennen lässt und

Digitized by Google

in einem Dünnschliff gegen das polarisirte Licht sich wie ein Individuum verhält. Die radialfaserige Struktur des Pikroliths ist nur in einem Dünnschliff bei gekreuzten Nicols zu erkennen.

Ausser in den Klüften findet man den Pikrolith bei Amelose in kleinen Nestern zusammen mit gemeinem Serpentin und den Siliciophiten im Palaeopikrit liegend, oder in feinen Adern den gemeinen Serpentin durchziehend oder wohl auch als Überzug auf demselben. Der in den Nestern vorkommende Pikrolith unterscheidet sich von dem in den Klüften auftretenden zum Theil durch seine dunklere Farbe; er ist nicht porös, klebt nicht an der Zunge und wird nicht, wie jener, von Faserschnüren durchsetzt. Dem blossen Auge erscheint er vollkommen dicht und strukturlos, und unter dem Mikroskop verhält er sich im wesentlichen wie der oben beschriebene, mit dem Unterschied, dass die radialfaserigen Aggregate hier sphäroidisch sind, ihre Durchschnitte daher kreisförmig. Das Bild, das solche Platten bei gekreuzten Nicols darbieten, ist äusserst zierlich durch die vielen kleinen, neben einander liegenden Kreise, die je von einem schwarzen Kreuz durchschnitten werden, wodurch die ganze Oberfläche wie fein gegittert erscheint.

Nicht immer sind die Verhältnisse des Pikroliths so einfach, wie hier dargestellt; häufig, namentlich in den dünnen Adern ist es nicht zu einer regelmässigen radialfaserigen Ausbildung gekommen, sondern die Aggregate sind ganz unregelmässig, wodurch dann bei gekreuzten Nicols abweichende Erscheinungen, wie regellos gewundene, bei Drehen des Objekttisches wandernde und vielfach sich verschlingende Banden und dergleichen hervortreten; solche Stellen erinnern in ihrem Verhalten an gekühltes Glas, die Erscheinungen beruhen hier aber nicht auf Spannung, sondern auf einer unregelmässigen Faserung, wovon man sich mit Sicherheit überzeugen kann, wenn auf feinen Spalten färbende Substanz eingedrungen ist, in deren Umgebung die Fasern deutlich hervortreten.

Die Analyse des in den Klüften auftretenden typischen Pikroliths hat Herr Groos im hiesigen chemischen Laboratorium gütigst ausgeführt und folgende Werthe erhalten:

43,19 $SiO_2$. 4,59 FeO. Spur v. $Al_2O_3$. 39,58 MgO. 13,21 $H_2O$. Sa. = 100,57.

Digitized by Google

Von den bei Amelose vorkommenden Serpentinen ist der Pikrolith der eisenärmste, was man auch schon aus der hellen Farbe schliessen konnte.

## Neues Mineral: Webskyit.

Das neue Mineral schliesst sich nach seiner qualitativen Zusammensetzung an den Serpentin an und ist mit ihm in genetischer Beziehung auf das engste verbunden. Ich nenne es auf Vorschlag von Herrn Professor Bauer **Webskyit**, zu Ehren des um unsere Wissenschaft so hoch verdienten und zu früh verstorbenen Berliner Mineralogen, durch dessen gründliche Forschungen wie in so viele andere Gebiete der Mineralogie, so auch in die Familie der Serpentine zuerst Klarheit gekommen ist.

Das Mineral ist amorph, zuweilen mit kleinkugeliger, warziger Oberfläche. Die Farbe ist in grösseren Stücken pechschwarz, in dünnen Splittern hellgrün bis grünlich braun, der Strich hell bräunlich grün. Der Glanz ist Pechglanz, stellenweise fast metallisch. Der Bruch unregelmässig muschlig, in's splittrige übergehend. Härte = 3. Das spec. Gewicht nur 1,771.

Ein Dünnschliff wird mit hellgrüner bis brauner Farbe durchsichtig, die Masse ist vollkommen homogen, strukturlos und ohne fremde Einschlüsse; in der Regel durchaus einfach brechend, bisweilen aber auch in Folge innerer Spannung auf das polarisirte Licht wirkend; solche Stücke werden einfach brechend, wenn man sie zerdrückt und hierdurch die Spannung aufhebt.

Vor dem Löthrohr unschmelzbar, im Glasröhrchen erhitzt geht viel Wasser weg, welches schwach alkalisch reagirt. In der Phosphorsalzperle die Reaktion auf Kieselsäure und Eisen gebend. Durch Salzsäure oder Schwefelsäure unter Abscheidung pulveriger Kieselsäure leicht zersetzbar.

Die Bestandtheile sind qualitativ dieselben wie im Serpentin, die quantitative Zusammensetzung ist aber eine andere, indem das Mineral 31% Wasser enthält, von dem 21% schon bei 100° weggehen.

Bei der Analyse erhielt ich die im folgenden angegebenen Werthe; zu I wurde ausgesuchte reine Substanz, zu II solche,

Digitized by Google

die mit Hülfe des Methylenjodids von allen etwa zersetzten Theilen getrennt war und das spec. Gew. von 1,771 besass; unter III ist das Mittel beider Analysen angegeben. Die angewandte Substanz war lufttrocken und durch langes Pressen zwischen Fliesspapier von allem etwa vorhandenen hygroskopischen Wasser befreit.

| | I. | II. | III. |
|---|---|---|---|
| $SiO_2$ . . . . | 34,96 | 34,87 | 34,915 |
| $FeO$ . . . . | 3,03 | 3,22 | 3,125 |
| $Fe_2O_3$ . . . . | 9,13 } | 9,59 | 9,605 |
| $Al_2O_3$ . . . . | 0,49 } | | |
| $MgO$ . . . . | 21,97 | 21,27 . | 21,62 |
| $H_2O$ . . . . | 9,84 | — | 9,84 |
| aq. . . . . | 21,2 | — | 21,2 |
| | 100,62 | | 100,305 |

Die Menge des unter 110° entweichenden Wassers wurde in verschiedenen Proben immer zu 21—22 % bestimmt. Die Zusammensetzung der ausgesuchten Substanz stimmt mit der der specifisch leichtesten fast vollkommen überein, das Mineral ist also nach constantem Verhältniss zusammengesetzt und kein Gemenge, wogegen auch schon der mikroskopische Befund und das ganze Verhalten spricht. Das trotz des hohen Eisengehaltes ungewöhnlich niedere specifische Gewicht erklärt sich aus dem grossen Wassergehalt des Minerals.

Bei Aufstellung einer Formel ist die Thonerde jedenfalls nicht zu berücksichtigen, wir bringen sie als Kaolin mit den entsprechenden Mengen Kieselsäure (0,57 %) und Wasser (0,17 %) vorher in Abrechnung.

Das Eisenoxyd ist jedenfalls ursprünglich als Oxydul vorhanden gewesen und daher als solches in Rechnung zu bringen. Dass dies nicht ungerechtfertigt ist, wird durch die leichte Oxydirbarkeit der Substanz erwiesen, welche schon bei dem Erwärmen auf 180° stark gebräunt wird. Da das Mineral nun in einer Spalte auftritt und dem äussersten Theil entnommen ist, wo die Atmosphärilien den leichtesten Zutritt haben und jeder Regen eindringt, so wird wohl die Annahme, dass das Eisenoxyd ursprünglich als Oxydul vorhanden gewesen sei, nichts gegen sich haben. Bei Aufstellung der Formel wird daher das Eisen alle als Oxydul angenommen.

Digitized by Google

Die 21 % Wasser unterscheiden sich von den 9,86 % auf das wesentlichste dadurch, dass sie unter 110°, die andern erst bei dem Glühen entweichen und fernerhin dadurch, dass die 21 % an der feuchten Luft wieder aufgenommen werden. Dieselbe Menge Wasser, die bei 110° entweicht, wird auch schon über concentrirter Schwefelsäure abgegeben und an der feuchten Luft ebenso wieder aufgenommen. Dieser Theil Wasser muss demnach als sogen. Krystallwasser von dem andern, dem Constitutionswasser getrennt werden.

Bringen wir also die Thonerde in Abzug, berechnen das Eisenoxyd zu Oxydul und reduziren auf 100, so bekommen wir:

| | | Quotient | |
|---|---|---|---|
| $SiO_2$ . . . . | 34,91 | 0,58 = 1 | = 3 |
| FeO. . . . . | 11,42 | 0,16 | |
| MgO . . . . | 22,30 | 0,55 | = 1,3 = 4 |
| $H_2O$. . . . . | 9,84 | 0,55 = 1 | = 3 |
| aq. . . . . | 21,52 | 1,19 = 2,1 | = 6 |

Die Formel des Webskyit ist demnach: $H_6R_4Si_3O_{15} + 6$ aq, worin R = Mg und Fe ist.

Die dieser Formel theoretisch entsprechende Zusammensetzung ist, unter der Annahme, dass $R_4 = 3$ Mg + 1 Fe, was annähernd der Fall ist, die folgende:

33,71 $SiO_2$. 13,48 FeO. 22,46 MgO. 10,11 $H_2O$. 20,22 aq.

Dies stimmt mit den gefundenen Werthen ebenso überein, wie die theoretische Zusammensetzung des Serpentins mit den bei den meisten Analysen gefundenen Werthen.

Das Mineral, ohne das bei 110° entweichende Wasser gedacht, unterscheidet sich von dem Serpentin durch die relativ grössere Menge von Kieselsäure: während das Verhältniss des Wassers zur Kieselsäure in beiden gleich ist (1 : 1), verhalten sich im Serpentin die Basen zur Kieselsäure wie 1,5 : 1, hier aber wie 1,3 : 1. Wenn nun auch durch die Analysen geringe Schwankungen in der Zusammensetzung des Serpentins angezeigt werden, so dass das Verhältniss näher an 1,4 : 1 herankommt, so ist bei unserem Mineral der Unterschied doch zu gross, um es gerechtfertigt erscheinen zu lassen, einfach einen „gewässerten" Serpentin anzunehmen. Auch stimmt die Menge der Kieselsäure in beiden Analysen zu gut überein, als dass man daran denken könnte, es sei amorphe

Digitized by Google

Kieselsäure beigemischt; wäre dies der Fall, so würde es in der zweiten Analyse sicher durch einen abweichenden Werth zum Vorschein gekommen sein. Ich glaube daher, die Formel $H_6 R_4 Si_3 O_{13} + 6$ aq als die richtige ansehen zu dürfen.

Das Mineral findet sich in grösserer Menge in einer Spalte im Palaeopikrit zusammen mit einem grünen, dicht erscheinenden Serpentin, aus dem es unzweifelhaft hervorgegangen ist und dessen Beschreibung und Analyse wir hier einschalten.

Dieser Serpentin tritt hier in mehreren bis 2 cm. dicken Platten auf, die, zu 4—6 parallel neben einander liegend, die Spalte erfüllen; er ist äusserlich mit einer braunen Haut überzogen, im Innern ziemlich hellgrün und erscheint beinahe dicht; bei dem Zerschlagen tritt aber eine Neigung zur stengligen Absonderung deutlich hervor. Dies schon unterscheidet ihn vom Pikrolith, dem er sonst ähnlich ist, mehr noch das optische Verhalten, worin er ganz mit Metaxit übereinstimmt. Ein Schliff parallel der stengligen Absonderung verhält sich wie ein Individuum, löscht einheitlich aus, und die kleinste optische Elasticitätsaxe fällt in die Richtung der stengligen Absonderung. Man würde demnach diesen Serpentin als einen dichten Metaxit zu bezeichnen haben. Der Schliff ist durchsetzt von trüben Flittern, die wohl Kaolin sein mögen, wenigstens schiebe ich den bei der Analyse hervorgetretenen Thonerdegehalt auf diese trüben Partien.

Die Analyse ergab die unter I angeführten Werthe, die Zahlen unter II geben die Zusammensetzung nach Abzug der Thonerde als Kaolin, Berechnung des Eisenoxyds zu Oxydul und Reduktion auf 100.

| | I. | II. | Quotient | |
|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 42,89 | 42,76 | 0,712 | = 1 |
| FeO | 5,77 | 10,51 | 0,146 | |
| $Fe_2O_3$ | 4,03 | — | | = 1,46 |
| $Al_2O_3$ | 4,00 | — | | |
| MgO | 30,98 | 34,66 | 0,866 | |
| $H_2O$ | 12,19 | 12,07 | 0,670 | = 1 |
| | 99,86 | | | |

Das spec. Gew. war 2,638.

Aus diesem Serpentin ist nun der Webskyit durch Wasseraufnahme hervorgegangen und steht mit ihm in einem deutlich erkennbaren Zusammenhang: Zuerst überzieht sich der



Digitized by Google

Serpentin mit einer dünnen Rinde von Webskyit, die noch fest mit ihm verbunden ist, so dass man ein Stück zerschlagen kann, ohne dass beide Theile sich trennen. Auf der frischen Bruchfläche erkennt man mit blossem Auge zwischen dem noch frischen Serpentin und dem Webskyit eine schmale, dunkelgrüne Zone von halb verändertem Serpentin. Ein in der Richtung der stengligen Absonderung angefertigter Schliff zeigt unter dem Mikroskop in der Mitte den frischen, einheitlich polarisirenden Serpentin, dann folgt nach aussen eine Zone mit Aggregatpolarisation und am Aussenrand der einfach brechende Webskyit.

Während wir so die Art der Umwandlung, wie sie sich dem Auge des Beobachters darbietet, leicht verfolgen können, wird der chemische Process wohl aus folgender Betrachtung klar: Die Zusammensetzung des Serpentins entspreche der Formel: $H_4 R_3 Si_2 O_9$, die des Webskyit der Formel: $H_6 R_4 Si_3 O_{13} + 6\,aq.$, so sind im einfachsten Falle drei Moleküle Serpentin nöthig, um für zwei Moleküle Webskyit das Material in dem richtigen Verhältniss zu liefern; der Process würde schematisch durch folgende Gleichung ausgedrückt werden:

$$H_{12} R_9 Si_6 O_{27} - RO + 12\,aq. = 2\,(H_6 R_4 Si_3 O_{13} + 6\,aq).$$

Es würden also aus drei Molekülen Serpentin ein Molekül Base weggeführt und 12 Moleküle Wasser aufgenommen werden müssen, um die Bildung des Webskyit zu ermöglichen. Wenn wir uns den oben analysirten Serpentin diesem einfachsten Process unterworfen denken, so würde, unter der Annahme, dass die weggeführte Base Magnesia sei, eine Substanz von der Zusammensetzung: 35,5 $SiO_2$. 8,7 FeO. 25.6 MgO. 10 $H_2O$. 20 aq. resultiren, was mit der Zusammensetzung unseres Webskyits schon ziemlich übereinstimmt: es müsste noch etwas mehr Magnesia und ein wenig Kieselsäure weggeführt werden, wenn die oben gefundene Zusammensetzung erreicht werden soll.

Die Umwandlung schreitet nun von aussen nach innen stetig fort und Hand in Hand mit ihr geht eine beträchtliche Volumzunahme. Wie nämlich eine einfache Rechnung zeigt, giebt 1 Volumen Serpentin 1,61 Volumen Webskyit, die Volumzunahme ist demnach ebenso gross wie die des

Digitized by Google

in Gyps verwandelten Anhydrit (1 : 1,62); hierbei ist aber der Unterschied, dass von der Substanz des Gypses jedenfalls mehr in Lösung geht wie hier, wo, wenn überhaupt etwas, nur sehr wenig in Lösung gehen kann.

Diese Volumzunahme giebt sich nun auf das unzweideutigste und schönste in der Art des Vorkommens zu erkennen. Wie oben erwähnt wird die Spalte, in der der Webskyit vorkommt, ursprünglich von mehreren, einander parallelen Serpentinplatten ausgefüllt; diese befinden sich aber nicht mehr in ihrer ursprünglichen Lage, sondern sind gegen einander verschoben und zerdrückt, die dickeren Platten in verhältnissmässig grobe Stücke, die dünnen vollständig zertrümmert, und die scharfkantigen Bruchstücke liegen regellos durcheinander. In alle Lücken und Zwischenräume ist die Masse des Webskyits hineingepresst und verbindet die Bruchstücke zu einer vollkommenen Breccie, in der die Serpentinstücke mit hellgrüner Farbe aus der pechschwarzen Masse des Webskyits deutlich hervortreten. Der Zusammenhalt einer solchen Breccie ist wegen der Sprödigkeit des Webskyits ein sehr geringer, und es gehört grosse Vorsicht dazu, grössere Stücke unversehrt nach Hause zu bringen.

Im Anschluss hieran sei ein eigenthümliches Vorkommen von Apatit erwähnt. Auf einem aus dieser Spalte stammenden Webskyitstück fand ich zahlreiche, äusserst kleine, sehr lebhaft glänzende, farblose Krystalle, die nur Apatit sein können: sie lösen sich in Salzsäure sehr leicht und ohne Brausen auf, geben, mikrochemisch untersucht, mit molybdänsaurem Ammon die Reaktion auf Phosphorsäure und mit Schwefelsäure die auf Kalk. Das eigenthümliche ist nun, dass dieser Apatit eine ganz recente Bildung ist, indem er nicht nur auf dem Webskyit aufsitzt, sondern auch an feinen Wurzelfasern sich findet und an ihnen festhängt wie Krystalle von Zucker z. B. an einem in ihrer Lösung ausgespannten Faden.

Ausser in dieser Spalte findet sich der Webskyit bisweilen als pechschwarze, rissige Kruste über verwittertem, lockerem Palaeopikrit und in Körnern eingesprengt in Kalkspath.

Es scheint, als ob der Webskyit nur aus eisenreichem



Digitized by Google

Serpentin entstünde, wenigstens habe ich ihn niemals mit dem eisenarmen Pikrolith zusammen gefunden.

Was nun die Verbreitung des Webskyits anbetrifft, so scheint diese keine so geringe zu sein, als man wohl glauben sollte; ich habe ihn ausser bei Amelose auch bei den schwarzen Steinen unfern Wallenfels als eine dünne, braunschwarze Rinde über dunkelgrünem Pikrolith wiedergefunden, ausserdem aber noch auf Stücken von Reichenstein, einmal als Überzug auf einer Seite eines Diopsidstückes, das sich unter der von Herrn Geh. Rath Websky geliehenen Collektion des Berliner Museums befand, und zweitens an einem in Kalkspath eingewachsenen Serpentin, den Herr Geh. Rath Römer zu Breslau mit vielen andern Serpentinproben dem hiesigen mineralogischen Institut zum Geschenk gemacht hat. Im letzteren Falle bildete der Webskyit eine dunkelgrüne Zone um den helleren, rings in Kalkspath eingeschlossenen Pikrolith.

Ich bin überzeugt, dass man bei genauer Nachforschung das Mineral noch häufiger auffinden wird.

## Kalkspath.

Der Kalkspath findet sich in grösseren Knollen auf Spalten und in der Serpentin-Metaxitknauer, wie oben erwähnt; in geringerer Menge in faserigen, die Serpentinmasse durchziehenden Schnüren und sehr häufig als ein dünnes Häutchen über und zwischen den Metaxitstengeln und auf andern Serpentinen. Wie schon oben erwähnt ist er in diesem letzteren Falle immer so orientirt, dass seine optische Axe senkrecht ist zu der Ebene des Häutchens.

In den Knollen ist der Kalkspath grossspäthig, so dass ein etwa kopfgrosses Stück nur aus wenigen Individuen besteht; er ist im Innern noch vollkommen frisch und rein weiss und von unzähligen, äusserst feinen Zwillingslamellen nach dem nächsten stumpferen Rhomboëder durchsetzt.

Da Schrauf und vor ihm schon andere in den mit Serpentin vorkommenden Carbonaten bei der Analyse immer ein Hydrosilicat gefunden hatten, so war es mir von Interesse zu sehen, wie dieser Kalkspath sich verhalten würde. Makroskopisch sind auch in ihm Einschlüsse und zwar von Webskyit zu erkennen, diese sind aber leicht zu entfernen, so dass man

Digitized by Google

reines Material zur Analyse leicht gewinnen kann. Die Analyse hat Herr Privatdocent Dr. W. Roser im hiesigen chemischen Laboratorium bereitwilligst ausführen lassen; sie ergab folgende Werthe:

55,71 Ca O. Spur von Mg O. 44,11 $CO_2$. Sa. = 99,82.

Es ist also fast chemisch reiner Kalk ohne fremde Beimengungen.

Unter dem Einfluss der Agentien verliert der Kalkspath an Glanz, die eingeschalteten Zwillingslamellen werden matt und verleihen der Oberfläche hierdurch einen eigenthümlichen, seidenartigen Schimmer; bei fortschreitender Verwitterung wird der kohlensaure Kalk aufgelöst und fortgeführt, die nur in Spuren vorhandene kohlensaure Magnesia bleibt zurück und überkleidet, mit einer annähernd gleichen Menge von kohlensaurem Kalk verbunden, die Wände des durch Auflösung des Kalkspaths entstandenen Hohlraums.

Ein Theil des hierbei in Lösung gegangenen oder vielleicht auch des bei der Umwandlung des Olivins gebildeten kohlensauren Kalkes findet sich in der Modification des Aragonits in kleinen spiessigen Kryställchen auf Quarz aufsitzend, aber nur als grosse Seltenheit.

Der Kalk dieser Carbonate stammt aus dem Olivin. Bei der denkbar einfachsten Umwandlung des Olivin in Serpentin müssen aus 2 Molekülen Olivin 1 Molekül Base weggeführt und 2 Moleküle Wasser aufgenommen werden, um ein Molekül Serpentin zu liefern:

$$R_4 Si_2 O_8 - RO + 2H_2O = H_4 R_3 Si_2 O_9.$$

Dem einen weggeführten Molekül entspricht nun bei unserem Olivin, die Analyse Oebbeke's zu Grunde gelegt, gerade die vorhandene Menge Kalk. Denn wenn wir aus 2 Molekülen dieses Olivins den Kalk, aber keine Magnesia und keine Kieselsäure verschwinden lassen, so hat der Rest. auf 100 reducirt und wasserfrei gedacht, die Zusammensetzung: 50,3 $SiO_2$. 42,1 Mg O. 7,8 Fe O, während Serpentin wasserfrei schematisch die Zusammensetzung 50 $SiO_2$ und 50 Mg O haben würde, was beides zufällig übereinstimmt; denn in Wirklichkeit wird der Process nicht so einfach verlaufen sein, ganz abgesehen davon, dass auch die Zusammensetzung des Olivins ein wenig abweichend sein kann.

Digitized by Google

## Quarz.

Der Quarz und überhaupt die freie Kieselsäure ist bei Amelose im Vergleich zu der Menge der Serpentine sehr sparsam vertreten; ich habe den Quarz nur in einer Spalte mit Metaxit und Webskyit zusammen gefunden, wo er in der Weise auftrat, dass er den mehr oder weniger zertrümmerten und z. Th. in Webskyit übergegangenen Metaxit zu einer Breccie verband, oder dass er die schmalen Zwischenräume zwischen den Metaxitplatten ausfüllte. Der Metaxit ist hier

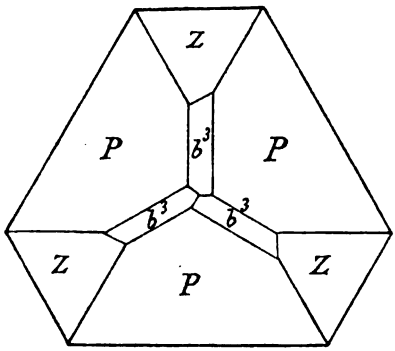



Fig. 3. Quarz von Amelose. Proj. auf die Basis. $b^3 = \frac{3}{4}R\frac{3}{2}$.

sehr mürbe und bröckelig und offenbar in der Zersetzung begriffen, wobei er die Kieselsäure geliefert haben kann.

Die grösste Menge der Kieselsäure ist derb und nur in Hohlräumen deutlich krystallisirt. Die Krystalle des Quarzes sind klein, höchstens 5 mm. lang, entweder farblos-weiss und dann nur von $\infty$R. $\pm$ R begrenzt, oder sie sind gelblich, wie zerfressen aussehend und zeigen dann bisweilen die nun zu beschreibenden seltenen Flächen.

Die Krystalle sind in der Weise ausgebildet, dass die Flächen des Hauptrhomboëders vorherrschen und sich an der Endecke in Kanten schneiden; diese Kanten, in der Regel alle drei, sind nun an den zerfressen aussehenden Krystallen schief abgestumpft durch schmale, lebhaft glänzende Flächen, die für sich ein halbes Skalenoëder bilden würden und mit den beiden benachbarten Flächen des Hauptrhomboëders P je in einer Zone liegen. (Vergl. die obenstehende Figur 3, Projektion auf die Basis.)

Digitized by Google

Zu einer genauen Messung sind die Flächen nicht geeignet, da sie zu klein und nicht vollkommen eben sind; die Ungenauigkeit in der Einstellung auf den schwachen Schimmer beträgt über einen Grad. An dem besten Krystall wurde für den Winkel des Hauptrhomboëders P zu der schiefen Abstumpfung der Werth: 161° 4′ gefunden; es entspricht dies am besten der Fläche $b^3$ nach Des Cloizeaux, für welche dieser Winkel 162° 2′ sein müsste. An einem andern Krystall war der entsprechende Winkel entschieden grösser, es wurde als Mittel 169° 37′ gefunden, was sich mehr dem Werthe für die Fläche $b^5$ nähert, für die dieser Winkel 168° 33′ ist. Die Fläche $b^3$ entspricht unserem $\frac{3}{4}R\frac{3}{2}$ (2134), $b^5 = \frac{5}{8}R\frac{5}{4}$ (4156).

Flächen von dieser Lage sind am Quarz sehr selten und nur an wenigen Krystallen bisher beobachtet. Des Cloizeaux [1] hat die Fläche $b^3$ nur an einem Krystall von Brasilien und an einem Amethyst von Ungarn, die Fläche $b^5$ nur ein einziges Mal gefunden. A. Streng [2] hat an den Quarzkrystallen von der Eleonore am Dünstberg bei Giessen Flächen von analoger Lage aufgefunden und glaubt, sie für natürliche Ätzflächen halten zu dürfen.

Nach dem Aussehen unseres Quarzes scheint es mir unzweifelhaft, dass diese Flächen nicht bei der Bildung der Krystalle, sondern bei ihrer beginnenden Zerstörung entstanden sind und als Ätzflächen aufzufassen sind; denn sie finden sich nur an den zerfressenen Krystallen, niemals an den frischen. Diese Annahme erhält eine Stütze durch die Beobachtungen von Leydoldt [3], nach welchen durch Ätzen mit HFl die Kanten P/P schief abgestumpft werden.

Mit Betrachtung dieser Endprodukte sind wir zum Schluss gekommen. Der Palaeopikrit von Amelose mit seinen namentlich aus dem Olivin hervorgegangenen Neubildungen bietet ein schönes Beispiel für den Kreislauf der Stoffe in der Natur: ein ewiges, ununterbrochenes Werden und Vergehen, selbst die widerstandsfähigsten Körper sind nicht für die Dauer geschaffen.

[1] Mémoire sur la cristallisation etc. du quartz. Paris 1855. p. 101.
[2] XVII. Ber. d. Oberhess. Ges. f. Natur- u. Heilkunde p. 36. 1878.
[3] Sitzgsber. d. Wien. Akad. Bd. 15, p. 66.

Digitized by Google

## Litteratur[1].

### Allgemeiner Theil.


1) Breithaupt: Über den Serpentin. (Neues Jahrb. d. Chemie u. Physik von Schweigger-Seidel. 1831. p. 281.)
2) Quenstedt: Über die Afterkrystalle des Serpentins. (Poggendorff's Annalen 1835. Bd. 36. p. 370.)
3) G. Rose: Über die Pseudomorphosen des Serpentins von Snarum und die Bildung des Serpentins im Allgemeinen. (Poggendorff's Annalen 1851. Bd. 82. p. 511.)
4) Volger: Entwicklungsgeschichte der Talkglimmerfamilie etc. Zürich 1855. p. 282.
5) Websky: Über die Krystallstruktur des Serpentins und einiger demselben zuzurechnenden Fossilien. (Zeitschr. d. Deutschen geol. Ges. 1858. Bd. 10. p. 289.)
6) J. Roth: Über den Serpentin und die genetischen Beziehungen derselben. (Abhandlungen d. Königl. Akademie d. Wissensch. zu Berlin. 1870. p. 329.)
7) Bischof: Chemische Geologie. 2. Aufl. Bd. 2. p. 787.
8) G. Schulz: Die Serpentine von Erbendorf in der bayerischen Oberpfalz. (Diss. Leipzig 1883.)
9) Weigand: Die Serpentine der Vogesen. (Tschermak, Mineralog. Mittheilgn. 1875. p. 183.)
10) E. Hussak: Über einige alpine Serpentine. (Tschermak's Mineralog. u. petrogr. Mittheilgn. V. 1883. p. 61.)
11) F. Sandberger: Über Olivinfels und die in demselben vorkommenden Mineralien. (Dies. Jahrb. 1886. p. 385.)
12) Tschermak: Über Serpentinbildung. (Sitzungsber. der k. k. Akademie der Wissensch. Wien. Bd. 56. 1867.)
13) A. Schrauf: Beiträge zur Kenntniss des Associationskreises der Magnesiasilicate. (Zeitschr. für Krystallographie etc. VI. 1882. p. 321.)


### Palaeopikrit und Serpentine aus Nassau.


14) F. Sandberger: Übersicht der geolog. Verhältnisse des Herzogthums Nassau. Wiesbaden 1847. p. 96.
15) F. Sandberger: Olivinfels von den schwarzen Steinen bei Wallenfels. (Dies. Jahrb. 1865. p. 449.)
16) F. Sandberger: Nachträgliche Bemerkungen zu meiner Abhandlung über den Olivinfels. (Dies. Jahrb. 1867. p. 171.)
17) R. Ludwig: Erläuterungen zur geol. Specialkarte des Grossherzogthums Hessen und der angrenzenden Landgebiete. a) Section Gladenbach. 1870. b) Section Biedenkopf. 1871.
18) Mösta: Über ein neues Gestein der Diabasgruppe. (Sitzungsber. der Ges. zur Beförderung der ges. Naturw. zu Marburg. 1876. p. 163.)


[1] Ausführliche Litteraturangaben über die Entstehung des Serpentins findet man bei E. R. Riess: „Über die Entstehung des Serpentins" (Zeitschrift f. d. ges. Naturw. Bd. 52. 1879).

Digitized by Google

19) G. Angelbis: Petrographische Beiträge. (Diss. Bonn 1877.)
20) K. Oebbeke: Ein Beitrag zur Kenntniss des Palaeopikrits und seiner Umwandlungsprodukte. (Diss. Würzburg 1877.)
21) Möhl: Beilage zum Tageblatt der Naturforscherversammlung in Hamburg. p. 88.
22) H. Fischer: Kritische, mikroskopisch-mineralogische Studien. I. Fortsetzung. Freiburg 1871.

Chrysotil.

23) von Kobell: Über den schillernden Asbest von Reichenstein in Schlesien. (Journal für prakt. Chemie. II. Bd. 1834. p. 297.)
24) von Kobell: Ebenda. Bd. XXX. 1843. p. 469.
25) Thomson: Phil. Mag. XXII. 1843. p. 191.
26) Delesse: Über den Chrysotil der Vogesen. (Dies. Jahrb. 1848. p. 257.)
27) E. Schmidt: Analyse des Asbests von Zöblitz. (Journal für prakt. Chemie. XLV. Bd. 1848. p. 14.)
28) Websky: l. c. p. 283—284.
29) E. Reusch: Über den Chrysotil im edlen Serpentin von Reichenstein. (Poggend. Ann. Bd. 127. 1866. p. 166.)
30) Robert B. Hare: Die Serpentinmasse von Reichenstein und die darin vorkommenden Mineralien. (Diss. Breslau 1879. p. 23.)

Metaxit.

31) Breithaupt: Einige fettige und der Krystallisation fähige Mineralien. (Schweigger-Seidel, Neues Jahrb. d. Chemie u. Physik. III. 1831. p. 276—278.)
32) Delesse: Thèse sur l'emploi d'analyse chimique dans les recherches de minéralogie. 1843. p. 24.
33) Kühn: Mineralanalysen. (Annalen d. Chemie und Pharmacie. Bd. LIX. 1846. p. 369.)
34) Websky: l. c. p. 277—282.
35) Fischer: l. c. p. 45.
36) Hare: l. c. p. 27—29.
37) Bauer: Chemische Zusammensetzung des Metaxit von Reichenstein. (Dies. Jahrb. 1882, I. p. 161.)

Pikrolith.

38) Hausmann in Efemeriden der Berg- und Hüttenkunde, herausgegeben von C. E. v. Moll. 1808. p. 401.
39) Breithaupt: Vollständige Charakteristik des Mineralsystems. 3. Aufl. 1832.
40) Hausmann: Handbuch der Mineralogie. II. Theil. I. Band. 1847.
41) List: Annalen der Chemie und Pharmacie. LXXIV. p. 241.
42) Websky: l. c. p. 285—288.
43) Hare: l. c. p. 24—27.
44) H. Traube: Beiträge zur Kenntniss der Gabbros, Amphibolite und Serpentine des niederschlesischen Gebirges. (Diss. Greifswald 1884. p. 27—31.)

Digitized by Google

# Beitrag zur Kenntniss des Titanits.

Von

**Karl Busz.**

Mit Tafel X—XII.

---

Vorliegende Arbeit wurde auf Veranlassung des verewigten Herrn Professor A. von Lasaulx während des Winter-Semesters 1885/86 im mineralogischen Institut der Universität Bonn von mir begonnen.

Es handelte sich ursprünglich dabei um die Frage, ob ein Zusammenhang bestehe zwischen der chemischen Constitution des Titanits und den optischen Constanten. Bei der genaueren Betrachtung jedoch des reichhaltigen Materials, welches das mineralogische Museum zur Verfügung stellte, wurde ich durch bisher noch nicht beschriebene Vorkommen des Titanits, sowie auch durch die eigenthümliche und auffallende Ausbildung einer Reihe von Krystallen darauf geführt, auch die krystallographischen Verhältnisse näher ins Auge zu fassen.

Demgemäss musste die Arbeit in zwei Theile getrennt werden, von denen ersterer die Resultate der chemischen und optischen Untersuchung, letzterer die der krystallographischen behandeln soll.

Endlich schien es nicht unangebracht, bei der ausserordentlichen Verbreitung des Titanits und seiner Wichtigkeit ein Verzeichniss der Litteratur über dieses Mineral beizufügen.

Digitized by Google

## I. Chemischer und optischer Theil.

Zur chemischen und optischen Untersuchung geeignet waren Stücke folgender zehn Fundorte: Schwarzenstein im Zillerthal, Eisbruckalp, Val Maggia, St. Gotthard, Wildkreuzjoch in Tyrol, Laacher See, Arendal in Norwegen, Renfrew und Grenville in Canada, Monroe in Michigan U. S. A.

Im Anschluss daran habe ich auch den dem Titanit nahe stehenden Keilhauit (Yttrotitanit) von Arendal in den Kreis der Untersuchungen gezogen.

Es haben sich nun allerdings im optischen Verhalten der einzelnen Vorkommen sehr grosse Unterschiede gezeigt. Auch in Bezug auf die chemische Zusammensetzung stellten sich beachtenswerthe Differenzen heraus. Aber es hat sich aus alle dem kein Gesetz ergeben, welches eine Erklärung für die optischen Verschiedenheiten geben, oder einen Zusammenhang zwischen den chemischen und physikalischen Verhältnissen feststellen könnte.

Hierbei mag jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass auch die sorgfältigsten chemischen Analysen des Titanits aus verschiedenen Gründen einen Anspruch auf absolute Genauigkeit nicht machen können. Denn die Trennungsmethoden von Kieselsäure und Titansäure, ferner von Titansäure, Thonerde und Eisen sind nicht so vollkommen, dass man auf eine vollständig genaue Bestimmung der einzelnen Bestandtheile rechnen kann. So oft man Titanit desselben Fundorts, von gleichem Habitus, gleicher krystallographischer Ausbildung analysiren mag, die Resultate zeigen fast nie vollständige Übereinstimmung.

Der Gang einer Analyse war im Allgemeinen folgender. Das möglichst fein zerriebene Pulver wird mit der 7—8fachen Menge sauren schwefelsauren Kalis gut vermischt und langsam zusammengeschmolzen, darauf noch etwa eine Stunde der Rothglühhitze ausgesetzt. Nach vollständigem Erkalten wird die Schmelze in kaltem Wasser aufgelöst (auf ein Gramm Substanz ungefähr ein Liter Wasser). Es bleibt die Kieselsäure zurück, wogegen Titansäure in Lösung geht. Der Niederschlag der Kieselsäure bedarf eines erneuten Aufschlusses, da demselben meist noch etwas unaufgeschlossene Substanz sowie

Digitized by Google

Kalk, stets aber Titansäure beigemengt ist. Aus der zurückgebliebenen Lösung wird die Titansäure durch lang anhaltendes Kochen ausgeschieden, wobei jedoch das verdampfende Wasser ab und zu ersetzt werden muss. Zugleich mit der Titansäure scheidet sich ein Theil des Eisens aus. Der Niederschlag wird daher nach dem Glühen und Wiegen wieder mit saurem schwefelsaurem Kali geschmolzen und nach dem Erkalten in kaltem Wasser gelöst. Durch Einleiten von schwefliger Säure in die Lösung wird das Eisenoxyd zu Eisenoxydul reducirt und beim Kochen fällt darauf nur Titansäure aus. Durch Ammoniak werden dann Thonerde und Eisen gefällt, doch enthält auch dieser Niederschlag zuweilen noch Titansäure, worauf bei der Trennung und Bestimmung von Thonerde und Eisen zu achten ist. Kalk und Magnesia werden darauf nach den bekannten Methoden bestimmt. Aus diesen Angaben geht wohl zur Genüge hervor, wie leicht bei den mehrfach zu wiederholenden Aufschlüssen auch unter Anwendung aller Vorsichtsmassregeln Fehler entstehen können.

Es folgen nunmehr die Resultate der an den verschiedenen Titaniten angestellten Untersuchungen.

### 1. Titanit vom Schwarzenstein im Zillerthal.

Die Krystalle vom Schwarzenstein sind die bekannten grossen Zwillinge von hellgrüner Farbe, mit glänzenden Flächen ausgebildet und klar durchsichtig.

Chemisch analysirt wurde dieser Titanit zuerst von Fuchs (Ann. d. Chem. und Pharm. XLVI. 319), welcher folgende Zusammensetzung fand:

$$32.52\ SiO_2;\ 43.21\ TiO_2;\ 24.18\ CaO = 99.91.$$

Eingehend hat sich Rose mit der Analyse dieses Titanits beschäftigt (Pogg. Ann. LXII. 263) und folgendes Resultat erhalten:

$$32.29\ SiO_2;\ 41.58\ TiO_2;\ 1.07\ Fe_2O_3;\ 26.61\ CaO = 101.55.$$

Der Gehalt an Kieselsäure ist zwar in beiden Analysen ungefähr gleich, dagegen sind die Mengen von Titansäure und Kalk wesentlich verschieden, endlich ist Eisenoxyd nur von Rose bestimmt worden.

Die optische Untersuchung begann ich mit der Bestim-

Digitized by Google

mung des scheinbaren Winkels der optischen Axen (mit dem grossen Axenwinkelapparat von Fuess, Berlin). Der Titanit ist optisch positiv, die Axe der kleinsten Elasticität somit die erste Mittellinie, welche nahezu senkrecht zu der Fläche des Domas $\frac{1}{2}P\infty$ $(\bar{1}02) = x$ orientirt ist. Die Ebene der optischen Axen liegt parallel der Symmetrieebene.

Zur Messung des scheinbaren Axenwinkels wurde ein Schliff parallel dem oben genannten Doma angefertigt und es ergab sich:

$$2E = 51^0\,3'\ (Li); \quad 45^0\,40'\,40''\ (Na); \quad 39^0\,52'\,40''\ (Tl).$$

Diese Winkelangaben sind Mittelwerthe aus je sechs Messungen. Ausserordentlich stark tritt hier die Dispersion der Axen hervor.

Zur Bestimmung der Brechungsexponenten dienten zwei Prismen. Die brechende Kante des einen war senkrecht zur Symmetrieebene orientirt und ergab den mittleren Brechungsexponenten $\beta$; die brechende Kante des zweiten war parallel der ersten Mittellinie, dieses Prisma lieferte somit den grössten Brechungsexponenten $\gamma$, da ja die erste Mittellinie die Axe der kleinsten Elasticität ist. Da nur die Kanten, nicht aber die Flächen der Prismen orientirt geschliffen waren, konnten nur diese zwei Exponenten bestimmt werden.

Das erste Prisma mit einem brechenden Winkel von $11^0\,55'$ gab für den ordentlichen Strahl als Minimum der Ablenkung:

$$\delta = 10^0\,59'\ (Li); \quad 11^0\,5'\ (Na); \quad 11^0\,13'\ (Tl).$$

Daraus berechnet sich:

$$\beta = 1.9123\ (Li); \quad 1.9206\ (Na); \quad 1.9316\ (Tl).$$

Das zweite Prisma mit einem brechenden Winkel von $12^0\,38'$ ergab für den ordentlichen Strahl:

$$\delta = 13^0\,19'\ (Li); \quad 13^0\,29'\ (Na); \quad 13^0\,37'\ (Tl),$$

woraus sich für $\gamma$ die Werthe ableiten:

$$\gamma = 2.0407\ (Li); \quad 2.0536\ (Na); \quad 2.0639\ (Tl).$$

Aus dem scheinbaren Winkel der optischen Axen und dem mittleren Brechungsexponenten $\beta$ berechnet sich der wahre Winkel der optischen Axen:

$$2V = 26^0\,1'\,40''\ (Li); \quad 23^0\,19'\,8''\ (Na); \quad 20^0\,20'\,4''\ (Tl).$$

Digitized by Google

Aus V, $\beta$, $\gamma$ berechnen sich endlich für den kleinsten Brechungsexponenten $\alpha$ die Werthe:

$$\alpha = 1.9062 \text{ (Li)}; \quad 1.9133 \text{ (Na)}; \quad 1.9278 \text{ (Tl)}.$$

## 2. Titanit von der Eisbruckalp.

Die gewöhnlich mit Adular auf Glimmerschiefer aufgewachsenen schön ausgebildeten Titanitkrystalle von hellgrüner Farbe sind durchweg Zwillinge und weisen einen grossen Flächenreichthum auf.

Die chemische Analyse, welche ich im Laboratorium des mineralogischen Instituts ausführte (daselbst analysirte ich ebenfalls den Titanit von Val Maggia, St. Gotthard, Wildkreuzjoch, Laacher See, Renfrew und Monroe), ergab die Zusammensetzung:

30.87 $SiO_2$; 42.43 $TiO_2$; 27.51 $CaO$; 0.36 Glühverl. = 101.17.

Mithin abgesehen von dem fehlenden Eisengehalt fast übereinstimmend mit dem Titanit vom Schwarzenstein.

Die optischen Verhältnisse dagegen bieten grössere Abweichungen dar.

Der scheinbare Winkel der optischen Axen wurde gemessen zu:

$$2E = 54^0\,52'\,9'' \text{ (Li)}; \quad 50^0\,21'\,10'' \text{ (Na)}; \quad 45^0\,26'\,30'' \text{ (Tl)}$$

(Mittel aus je sechs Messungen).

Diese Winkelwerthe sind im Mittel um etwa $4^0\,40'$ grösser. die Dispersion der Axen aber bedeutend geringer als bei dem Titanit vom Schwarzenstein.

Wollte man diese Verschiedenheiten auf die verschiedene chemische Zusammensetzung zurückführen, so könnte man nur den geringen Eisengehalt, den die Analyse des Titanits vom Schwarzenstein aufweist, als Ursache für dieselben ansehen.

Die Bestimmung des mittleren Brechungsexponenten $\beta$ wurde mit einem Prisma ausgeführt, dessen brechende Kante senkrecht zur Symmetrieebene geschliffen war (ohne Orientirung der Flächen), und dessen Winkel $23^0\,16'$ betrug.

Für den ordentlichen Strahl fand sich die Ablenkung:

$$\delta = 21^0\,50' \text{ (Li)}; \quad 22^0\,1' \text{ (Na)}; \quad 22^0\,11' \text{ (Tl)};$$

somit

$$\beta = 1.9018 \text{ (Li)}; \quad 1.9091 \text{ (Na)}; \quad 1.9158 \text{ (Tl)}.$$

Digitized by Google

Ein zweites Prisma wurde so geschliffen, dass seine brechende Kante parallel zur 1. Mittellinie orientirt war. der brechende Winkel betrug $13^0\,55'$.

Die Ablenkung des ordentlichen Strahles betrug:

$$\delta = 13^0\,49'\text{ (Li)};\quad 13^0\,59'\text{ (Na)};\quad 14^0\,12'\text{ (Tl)}.$$

Hieraus ergeben sich für den grössten Brechungsexponenten $\gamma$ die Werthe:

$$\gamma = 1.9783\text{ (Li)};\quad 1.9899\text{ (Na)};\quad 2.0051\text{ (Tl)}.$$

Aus $\beta$ und E ergiebt sich der wahre Winkel der optischen Axen:

$$2V = 28^0\,2'\,26''\text{ (Li)};\quad 25^0\,45'\,2''\text{ (Na)};\quad 23^0\,15'\,44''\text{ (Tl)}.$$

Berechnet man aus V, $\beta$, $\gamma$ den kleinsten Brechungsexponenten $\alpha$, so erhält man:

$$\alpha = 1.8973\text{ (Li)};\quad 1.9073\text{ (Na)};\quad 1.9122\text{ (Tl)}.$$

### 3. Titanit vom Val Maggia, Cant. Tessin.

Der Titanit vom Val Maggia ist zusammen mit rundlichen Concretionen von Glimmerkrystallen auf Glimmerschiefer aufgewachsen. Die Kryställchen sind etwa 3—4 mm. lang bei gleicher Breite und 1—1½ mm. dick. Dieselben sind trübe und in der Farbe dem Greenovit von St. Marcel nicht unähnlich, jedoch etwas blasser, und sind sämmtlich einfache Krystalle, Zwillinge wurden auf den vier im mineralogischen Museum vorhandenen Handstücken nicht gefunden.

Vorherrschend sind die Flächen des Prismas (Taf. X Fig. 3).

Die Analyse ergab:

30.08 $SiO_2$; 39.55 $TiO_2$; 1.72 MnO; 28.26 CaO; 0.32 Glühverl. = 99.93.

Die röthliche Farbe dieses Titanits mag wohl durch den Mangangehalt hervorgerufen sein. Vielleicht ist derselbe auch die Ursache der Abweichungen im optischen Verhalten. Es fanden sich die Werthe für den Winkel der optischen Axen grösser, als bei den bisher erwähnten Titaniten, dagegen ist die Doppelbrechung geringer, als bei dem vom Schwarzenstein.

Der scheinbare Winkel der optischen Axen wurde gemessen zu:

$$2E = 69^0\,1'\,40''\text{ (Li)};\quad 63^0\,27'\text{ (Na)};\quad 58^0\,30'\,40''\text{ (Tl)}.$$

Die Angaben für rothes und grünes Licht sind Mittelwerthe aus je 6 Messungen, der für gelbes Licht angegebene Winkel ist das Mittel aus 4 Messungen.

Digitized by Google

Der mittlere Brechungsexponent $\beta$ wurde bestimmt durch ein Prisma, dessen brechende Kante senkrecht zur Ebene der optischen Axen orientirt war. Der brechende Winkel war $= 12^0\,21'$.

Die Ablenkung des ordentlichen Strahles betrug:

$$\delta = 10^0\,59'\ (\text{Li}); \quad 11^0\,10'\ (\text{Na}); \quad 11^0\,20'\ (\text{Tl}).$$

Folglich

$$\beta = 1.8799\ (\text{Li}); \quad 1.8945\ (\text{Na}); \quad 1.9077\ (\text{Tl}).$$

Die Bestimmung des grössten Brechungsexponenten $\gamma$ wurde ausgeführt mit einem Prisma, dessen brechende Kante parallel der ersten Mittellinie orientirt war; der brechende Winkel betrug $23^0\,41'$. Nur die Kanten der beiden angewandten Prismen, nicht die Flächen waren orientirt.

Die Ablenkung des ordentlichen Strahles betrug:

$$\delta = 23^0\,55'\ (\text{Li}); \quad 24^0\,14'\ (\text{Na}); \quad 24^0\,36'\ (\text{Tl}),$$

demnach

$$\gamma = 1.9665\ (\text{Li}); \quad 1.9788\ (\text{Na}); \quad 1.9931\ (\text{Tl}).$$

Mit Hülfe von $\beta$ und E berechnet sich der wahre Winkel der optischen Axen:

$$2V = 35^0\,15'\,40''\ (\text{Li}); \quad 32^0\,13'\,46''\ (\text{Na}); \quad 28^0\,31'\,8''\ (\text{Tl}).$$

Berechnet man ferner aus V, $\beta$, $\gamma$ den kleinsten Brechungsexponenten $\alpha$, so ergeben sich die Werthe:

$$\alpha = 1.8718\ (\text{Li}); \quad 1.8880\ (\text{Na}); \quad 1.9026\ (\text{Tl}).$$

### 4. Titanit vom St. Gotthard.

Die Titanitkrystalle, auf Glimmerschiefer aufgewachsen, sind bis zu 3 cm. gross und schön ausgebildet. Sie sind schwach hellbraun gefärbt und durchsichtig. Einige Krystalle sind theilweise mit kleinen Glimmerkryställchen bedeckt.

Die Analyse ergab folgendes Resultat:

29.12 $SiO_2$; 42.09 $TiO_2$; MnO Spuren; 27.90 CaO; 0.37 Glühverl. = 99.48.

Diese Zusammensetzung stimmt fast genau überein mit der des Titanit von der Eisbruckalp, abgesehen von dem nur spurenweise vorhandenen Mangan, welches im vorliegenden Falle wohl auch die schwache Färbung bedingt.

Auch in der Grösse des scheinbaren Axenwinkels stimmen beide Titanitvorkommen nahezu überein.

Digitized by Google

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

Es ergab sich:

$2E = 57^0\,20'\,30''$ (Li); $52^0\,29'\,40''$ (Na); $47^0\,54'\,40''$ (Tl).

Die mittlere Differenz zwischen diesen Werthen und denen für den Titanit von der Eisbruckalp beträgt nur $2\frac{1}{2}^0$. Auch die Dispersion der Axen ist in beiden Fällen gleich (Gesammtdifferenz hier $9^0\,25'\,50''$, dort $9^0\,25'\,39''$). Dagegen stimmen die Brechungsexponenten nicht so ganz überein.

Der mittlere Brechungsexponent $\beta$ wurde bestimmt durch ein Prisma, dessen Kante senkrecht zur Symmetrieebene geschliffen war. Der brechende Winkel betrug $16^0$ (die Halbirungsebene dieses Winkels kein Hauptschnitt).

Die Ablenkung des ordentlichen Strahls betrug:

$\delta = 14^0\,24'$ (Li); $14^0\,34'$ (Na); $14^0\,44'$ (Tl),

somit

$\beta = 1.8839$ (Li) (1.9018);
$= 1.8940$ (Na) (1.9091);
$= 1.9041$ (Tl) (1.9158).

In Klammer stehen die Werthe für $\beta$ des Titanits von der Eisbruckalp.

Ein zweites Prisma, dessen brechende Kante parallel der ersten Mittellinie orientirt war, lieferte $\gamma$. Der brechende Winkel betrug $45^0\,44'$.

Für den ordentlichen Strahl fand sich:

$\delta = 56^0\,11'$ (Li); $56^0\,56'$ (Na); $57^0\,56'$ (Tl),

somit

$\gamma = 1.9987$ (Li) (1.9783)
$= 2.0093$ (Na) (1.9899)
$= 2.0232$ (Tl) (2.0051).

Aus E und $\beta$ ergiebt sich für den wahren Winkel der optischen Axen:

$2V = 29^0\,30'\,30''$ (Li); $27^0\,0'\,22''$ (Na); $24^0\,37'\,30''$ (Tl).

Aus V, $\beta$, $\gamma$ berechnet sich für $\alpha$:

$\alpha = 1.8766$ (Li); 1.8879 (Na); 1.8989 (Tl).

### 5. Titanit vom Wildkreuzjoch.

Der Titanit vom Wildkreuzjoch ist in der Farbe nicht sehr verschieden von dem eben erwähnten Titanit vom St. Gotthard, doch ist er meist von noch klarerer Beschaffenheit, aber von zahlreichen unregelmässig verlaufenden Sprüngen durch-



Digitized by Google

setzt. Durch das Vorherrschen der Hemipyramide $\frac{2}{3}P2$ (1̄23) erhalten die Krystalle einen prismatischen Habitus. Die Enden der etwa 3—4 cm. langen Prismen werden gebildet durch die Basis 0P (001) = P, und das Orthodoma $P\infty$ (1̄01) = y, denen sich zuweilen noch das Doma $P\infty$ (011) zugesellt.

Die chemische Zusammensetzung ist:

34.57 $SiO_2$; 44.92 $TiO_2$; $Fe_2O_3$ Spuren; 22.54 CaO = 102.03.

Auffallend niedrig ist der Kalkgehalt gegenüber dem hohen Gehalt an Kieselsäure und Titansäure.

Der scheinbare Winkel der optischen Axen wurde gemessen zu:

$2E = 52^0\,36'$ (Li); $47^0\,44'\,10''$ (Na); $44^0\,23'$ (Tl).

Diese Werthe kommen den für den Titanit vom Zillerthal und von der Eisbruckalp angegebenen Axenwinkeln am nächsten. Abgesehen aber davon, dass die Dispersion der Axen hier bedeutend geringer ist (Gesammtdifferenz hier nur $8^0\,13'$ gegenüber $11^0\,10'$ resp. $9^0\,25'$), ist besonders die Differenz in der chemischen Zusammensetzung sehr gross. Dieselbe tritt besonders hervor beim Kalkgehalt, dort 28 % resp. $27\frac{1}{2}$ %, hier nur $22\frac{1}{2}$ %.

Ein Prisma, dessen brechende Kante senkrecht zur Ebene der optischen Axen orientirt war, mit einem brechenden Winkel von $8^0\,40'$, lieferte den mittleren Brechungsexponenten $\beta$.

Es fand sich für den ordentlichen Strahl:

$\delta = 7^0\,46'$ (Li); $7^0\,53'$ (Na); $7^0\,59'$ (Tl),

somit

$\beta = 1.8958$ (Li); 1.9048 (Na); 1.9162 (Tl).

Mit einem Prisma, dessen brechende Kante parallel der ersten Mittellinie geschliffen war, wurde $\gamma$ bestimmt. Der brechende Winkel betrug $43^0\,45'$.

Es fand sich für den ordentlichen Strahl:

$\delta = 46^0\,49'$ (Li); $47^0\,25'$ (Na); $48^0\,3'$ (Tl),

demnach

$\gamma = 1.9072$ (Li); 1.9171 (Na); 1.9274 (Tl).

Aus $\beta$ und E berechnet sich für den wahren Winkel der optischen Axen:

$2V = 27^0\,5'\,40''$ (Li); $24^0\,31'\,46''$ (Na); $22^0\,44'$ (Tl).

Für $\alpha$ berechnen sich die Werthe:

$\alpha = 1.8889$ (Li); 1.9042 (Na); 1.9160 (Tl).

Digitized by Google

### 6. Titanit vom Laacher See.

Die in den Auswürflingen des Laacher Sees vorkommenden hellgelb bis orangegelb gefärbten glänzenden Krystalle von Titanit sind von G. vom Rath beschrieben worden (Pogg. Ann. CXV. 466—472). Darnach treten folgende Flächen auf:

$0P\ (001) = P,\ \infty\breve{P}\infty\ (010) = q,\ \breve{P}\infty\ (\bar{1}01) = y,\ -\breve{P}\infty\ (101) = v,$

$\breve{P}\infty\ (011) = r,\ \infty P\ (110) = l,\ \frac{1}{3}\breve{P}2\ (\bar{1}23) = n,\ -2\breve{P}2\ (121) = t.$

Die chemische Zusammensetzung ist:

30.10 $SiO_2$; 38.12 $TiO_2$; 1.86 $Fe_2O_3$; 29.59 $CaO$; 0.66 Glühverl. = 100.33.

Während hiernach Kieselsäure und Kalk in dem gewöhnlichen Verhältniss vorhanden sind, ist eine ziemliche Menge Eisenoxyd beigemischt, welches auch wohl die gelbe Farbe des Minerals bedingt.. Nun ist das optische Verhalten so verschieden von dem der schon genannten Titanite, dass es wohl möglich ist, dass eben dieser Eisengehalt die Abweichungen verursacht.

Der scheinbare Winkel der optischen Axen ist:

$2E = 72^\circ 10'$ (Li); $68^\circ 9' 20''$ (Na); $62^\circ 52' 48''$ (Tl).

Bei dieser grossen Differenz zwischen den früher angegebenen Werthen und diesem ist es bemerkenswerth, dass gleichwohl die Dispersion der Axen ungefähr dieselbe bleibt. wie bei den anderen Titaniten. Dasselbe lässt sich in Bezug auf den mittleren Brechungsexponenten sagen.

Die brechende Kante des Prismas, welches zur Bestimmung von $\beta$ benutzt wurde, war senkrecht zur Ebene der optischen Axen geschliffen, die Flächen lagen nicht orientirt; der brechende Winkel war $= 27^\circ 57'$.

Für den ordentlichen Strahl betrug die Ablenkung:

$\delta = 26^\circ 35'$ (Li); $26^\circ 55' 30''$ (Na); $27^\circ 16' 30''$ (Tl),

demnach

$\beta = 1.8967$ (Li); 1.9076 (Na); 1.9188 (Tl).

Es ergiebt sich für den wahren Winkel der optischen Axen hieraus:

$2V = 36^\circ 11'$ (Li); $34^\circ 9' 40''$ (Na); $31^\circ 32' 40''$ (Tl).

### 7. Titanit von Arendal.

Die im Syenit eingewachsenen Titanitkrystalle von Arendal haben einen prismatischen Habitus durch das Vorherrschen der Hemipyramide $\frac{2}{3}\breve{P}2\ (\bar{1}23)$, dazu treten auf die Flächen:



Digitized by Google

$0P\,(001) = P$, $\breve{P}\infty\,(\bar{1}01) = y$, $\breve{P}\infty\,(011) = r$.

Die Krystalle sind dunkelbraun gefärbt und werden nur in sehr dünnen Platten durchsichtig. Infolge dessen war es nicht möglich, die Brechungsexponenten mit gewünschter Genauigkeit zu bestimmen. Einerseits konnten wegen der mangelhaften Durchsichtigkeit Prismen zur Messung der Ablenkung der Lichtstrahlen nicht angewendet werden, anderseits ist auch die Anwendung des Totalreflectometers hier wegen der Grösse der Brechungsexponenten ausgeschlossen. Von andern Methoden aber habe ich von vornherein abgesehen, weil mir dieselben nicht den Anspruch auf die nöthige Genauigkeit machen zu können scheinen.

Analysirt wurde dieser Titanit von Rosales (Pogg. Ann. LXII. 263). Das Ergebniss zweier Analysen war folgendes:

| | I. | II. | |
|---|---|---|---|
| $SiO_2$ = | 30.69 % | 31.20 % | |
| $TiO_2$ = } | 47.65 | 40.92 } | 46.55 |
| $Fe_2O_3$ = } | | 5.63 } | |
| CaO = | 22.06 | 22.25 | |
| | 100.60 | 100.00 | |

Die optische Untersuchung ergab für den scheinbaren Winkel der optischen Axen folgende Werthe:

$2E = 76^0\,27'\,45''$ (Li); $71^0\,17'\,10''$ (Na); $66^0\,24'\,10''$ (Tl).

Diese Winkel kommen denen am nächsten, welche für den Titanit vom Laacher See angegeben wurden. In der chemischen Zusammensetzung aber sind diese beiden sehr verschieden, hier der hohe Eisengehalt bei verhältnissmässig geringem Kalkgehalt, dort gerade das umgekehrte Verhältniss. Dass der bedeutende Eisengehalt, wie ihn die obige Analyse aufweist, einen verändernden Einfluss auf den Winkel der optischen Axen hat, ist wohl anzunehmen, ob dieser aber die einzige Ursache für die Grösse dieses Winkels ist, ist zum mindesten fraglich.

### 8. Titanit von Renfrew in Canada.

Der Titanit von Renfrew, in den bekannten grossen, dunkelbraun gefärbten, stark glänzenden Krystallen auftretend, zeigt meist die Combination der Formen:

$\frac{1}{3}\breve{P}2\,(\bar{1}23) = n$, $\breve{P}\infty\,(\bar{1}01) = y$, $\breve{P}\infty\,(011) = r$, $-2\breve{P}2\,(121) = t$.

Digitized by Google

Die einfachen Krystalle sind gewöhnlich tafelförmig nach P∞. Zwillinge nach dem Gesetz „Z.E = 0P“ sind nicht selten. Es kommt an diesen Krystallen noch eine Zwillingsverwachsung nach einem anderen Gesetz vor, nämlich Z.E = $\frac{1}{3}$P4 (Ī45) (nähere Angaben darüber siehe Theil II).

Die chemische Analyse ergab:

30.58 $SiO_2$; 41.41 $TiO_2$; 2.55 $Al_2O_3$; 1.35 $Fe_2O_3$; 22.55 CaO; 0.29 MgO; 0.12 Glühverl. = 98.85.

Der scheinbare Winkel der optischen Axen wurde bestimmt zu:

2E = 90° 56′ 40″ (Li); 85° 58′ 50″ (Na); 80° 18′ 20″ (Tl).

Mit den geringen Beimengungen von Thonerde, Eisenoxyd und Magnesia, welche zusammen nur ungefähr 4 % ausmachen, lässt sich dieser hohe Werth des scheinbaren Winkels der optischen Axen nicht in Einklang bringen, zumal da bei vorher erwähnten Titaniten bei grösseren Mengen fremder Beimengungen geringere Unterschiede in optischer Beziehung hervorgetreten sind.

Die Dispersion der Axen ist auch hier wieder nicht wesentlich verschieden von der bei anderen Varietäten, sie ist fast genau so stark hier als bei dem Titanit von Val Maggia (s. S. 336).

### 9. Titanit von Grenville in Canada.

Dieser Titanit ist in Farbe und äusserer Form nicht verschieden von dem von Renfrew. Zur Benutzung lagen zwei Krystalle vor, etwa 1 cm. dick und 4 cm. lang bei gleicher Breite. Die an denselben auftretenden Flächen sind:

P∞ (Ī01) = y, P∞ (011) = r, $\frac{1}{3}$P2 (Ī23) = n, −2P2 (121) = t.

Auch kommt bei diesen Krystallen die eben schon erwähnte Zwillingsbildung (Z.E = $\frac{1}{3}$P4 (Ī45)) vor.

Eine Analyse dieses Titanits verdanke ich der gütigen Mittheilung des Herrn Harrington, welcher folgende Zusammensetzung fand:

30.09 $SiO_2$; 37.06 $TiO_2$; 1.16 FeO; 28.50 CaO; 0.66 Glühverl. = 99.47.

Demnach trotz des gleichen äusseren Habitus doch auffallend verschieden von dem Titanit von Renfrew, besonders in Hinsicht auf den Kalkgehalt. Die Analyse gleicht am mei-

Digitized by Google

sten der des Titanits vom Laacher See, jedoch sind die optischen Eigenschaften dieser beiden Vorkommen sehr verschieden.

Der scheinbare Winkel der optischen Axen wurde gemessen zu:

$2E = 94^0\ 11'\ 30''$ (Li); $88^0\ 16'\ 30''$ (Na); $85^0\ 29'$ (Tl).

Für rothes Licht also um $22^0$ grösser als bei dem Titanit vom Laacher See, aber nur $3\frac{1}{4}^0$ grösser als bei dem Titanit von Renfrew, bei welchem aber die Dispersion der Axen bedeutend stärker ist als bei diesem.

### 10. Titanit von Monroe in Michigan U. S. A.

Dieser Titanit ist seiner äusseren Form nach sehr ähnlich dem von Arendal, doch haben die Krystalle eine etwas hellere Färbung.

Vorwiegend ist die Hemipyramide $\frac{2}{3}P2$ $(\bar{1}23) = n$, an den Enden $0P$ $(001) = P$, und $P\infty$ $(\bar{1}01) = y$. Zwillingskrystalle fanden sich nicht.

Die chemische Analyse ergab folgende Zusammensetzung:

30.92 $SiO_2$; 34.44 $TiO_2$; 2.61 $Al_2O_3$; 7.84 $Fe_2O_3$; 23.93 $CaO$; 0.32 $MgO$; 0.20 Glühverl. = 100.26.

Von allen beschriebenen Vorkommen hat dieser Titanit den höchsten Gehalt an Eisenoxyd, den niedrigsten an Titansäure.

Wie in der chemischen Zusammensetzung von allen anderen Varietäten durchaus verschieden, so im optischen Verhalten.

Der scheinbare Winkel der optischen Axen ist:

$2E = 63^0\ 51'\ 40''$ (Li); $60^0\ 13'\ 30''$ (Na); $56^0\ 28'\ 40''$ (Tl).

Die Dispersion der Axen ist also hier geringer als bei irgend einem anderen der genannten Titanite (Gesammtdifferenz nur $7^0\ 23'$). Der Winkel der optischen Axen aber trotz des hohen Gehaltes an Eisenoxyd verhältnissmässig klein.

### 11. Keilhauit von Buoe bei Arendal.

Die Krystalle von Keilhauit, welche in ihrem äusseren Habitus den dunkelbraunen canadischen Titaniten gleichen, und auch dieselbe Zwillingsbildung zeigen, wie diese, weisen gewöhnlich folgende Flächen auf:

$0P$ $(001) = P$, $P\infty$ $(\bar{1}01) = y$, $\infty P$ $(110) = l$, $\frac{2}{3}P2$ $(\bar{1}23) = n$, $-2P2$ $(121) = t$.

Digitized by Google

Analysirt wurde dieses Mineral von A. Erdmann (Berz. Jahresb. 25, 328), von D. Forbes (Edinb. N. Phil. J. II) und von Rammelsberg (Pogg. Ann. 106. 296). Die Resultate dieser Analysen habe ich in folgender Tabelle zusammengestellt:

| | a. | b. | c. | d. | e. |
|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ = | 30.00 | 29.45 | 31.33 | 28.50 | 29.48 % |
| $TiO_2$ = | 29.01 | 28.14 | 28.04 | 27.04 | 26.67 |
| $Al_2O_3$ = | 6.09 | 5.90 | 8.03 | 5.45 | 6.24 |
| $Fe_2O_3$ = | 6.35 | 6.48 | 6.87 (FeO) | 5.90 | 6.75 |
| MnO = | 0.67 | 0.86 | 0.28 | — | — |
| CeO = | 0.32 | 0.63 | 0.52 (BeO) | — | — |
| CaO = | 18.92 | 18.68 | 19.56 | 17.15 | 20.29 |
| YO = | 9.62 | 9.74 | 4.78 | 12.08 + CeO | 8.14 |
| MgO = | — | — | — | 0.94 | — |
| $K_2O$ = | — | — | — | 3.59 | 0.54 |
| | 100.98 | 99.88 | 99.41 | 100.65 | 98.73 |

(a und b von Erdmann, c von Forbes, d und e von Rammelsberg, erstere mit krystallisirtem, letztere mit derbem Material.)

Da der scheinbare Winkel der optischen Axen zu gross war, als dass die Pole in Luft hätten austreten können, so wurde derselbe in Monobromnaphtalin gemessen. Herr Dr. phil. Klingemann hatte die grosse Freundlichkeit, dieses im chemischen Laboratorium der Universität Bonn darzustellen. Das Präparat hatte nach mehrfach wiederholter Destillation eine hellgelbe Farbe. Der Brechungsexponent wurde bestimmt zu:

1.6472 (Li); 1.6579 (Na); 1.6681 (Tl).

Bei Anwendung dieser Flüssigkeit erhielt ich für den scheinbaren Winkel der optischen Axen folgende Werthe:

$2E = 60^0\ 38'\ 30''$ (Li); $58^0\ 39'$ (Na); $57^0\ 28'$ (Tl).

Daraus berechnet sich für den scheinbaren Winkel der optischen Axen in Luft:

$2E = 112^0\ 31'\ 20''$ (Li); $108^0\ 34'\ 40''$ (Na); $106^0\ 37'\ 20''$ (Tl).

Also bedeutend grösser als bei irgend einer Titanitvarietät, die Dispersion der Axen aber geringer.

Um zum Schlusse dieses Theiles eine Übersicht über die Analysen und die scheinbaren Winkel der optischen Axen zu geben, füge ich folgende Tabellen bei:

Digitized by Google

## I. Chemische Zusammensetzung

(nach der Menge des Eisengehaltes geordnet).

| Fundort | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | CaO | MnO | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Eisbruckalp . . . . . | 30.87 | 42.43 | — | — | 26.61 | — | 100.81 |
| 2. St. Gotthard . . . . . | 29.12 | 42.09 | — | — | 27.90 | Spur | 99.11 |
| 3. Val Maggia . . . . . | 30.08 | 39.55 | — | — | 28.26 | 1.72 | 99.61 |
| 4. Wildkreuzjoch . . . . . | 34.57 | 44.92 | Spur | — | 22.54 | — | 102.03 |
| 5. Zillerthal . . . . . | 32.29 | 41.58 | 1.07 | — | 26.61 | — | 101.55 |
| 6. Grenville . . . . . | 32.09 | 37.06 | 1.16 (FeO) | — | 28.50 | — | 98.81 |
| 7. Renfrew . . . . . | 30.58 | 41.41 | 1.35 | 2.55 | 22.55 | 0.29 (MgO) | 98.73 |
| 8. Laacher See . . . . . | 30.10 | 38.12 | 1.86 | — | 29.59 | — | 99.67 |
| 9. Arendal . . . . . | 31.20 | 40.92 | 5.63 | — | 22.25 | — | 100.00 |
| 10. (Keilhauit) Buoe . . . . | 28.50 | 27.04 | 5.90 | 5.45 | 17.50 | 13.02 $\left\{\begin{matrix}MgO\\CeO\\YO\end{matrix}\right\}$, 3.59 $K_2O$ | 100.65 |
| 11. Monroe . . . . . | 30.92 | 34.44 | 7.84 | 2.61 | 23.93 | 0.32 | 100.06 |

Digitized by Google

## II. Scheinbarer Winkel der optischen Axen

(nach der Grösse geordnet).

| Fundort | Li | Diff. | Na | Diff. | Tl | Gesammtdiff. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Zillerthal . . . . . | 51° 3′ 0″ | 5°22′ 40″ | 45°40′ 40″ | 5°48′ 0″ | 39°52′ 40″ | 11°10′ 20″ |
| 2. Wildkreuzjoch . . . . . | 52 36 | 4 51 50 | 47 44 10 | 3 21 10 | 44 23 | 8 13 |
| 3. Eisbruckalp . . . . . | 54 52 9 | 4 30 59 | 50 21 10 | 4 54 40 | 45 26 30 | 9 25 39 |
| 4. St. Gotthard . . . . . | 57 20 30 | 4 50 50 | 52 29 40 | 4 35 | 47 54 40 | 9 25 50 |
| 5. Monroe . . . . . | 63 51 40 | 3 38 10 | 60 13 30 | 3 44 50 | 56 28 40 | 7 23 |
| 6. Val Maggia . . . . . | 69 1 40 | 5 43 40 | 63 27 | 4 56 20 | 58 30 40 | 10 31 |
| 7. Laacher See . . . . . | 72 10 | 4 0 40 | 68 9 20 | 5 16 32 | 62 52 48 | 9 17 12 |
| 8. Arendal . . . . . | 76 27 45 | 5 10 35 | 71 17 10 | 4 53 | 66 24 10 | 10 3 35 |
| 9. Renfrew . . . . . | 90 56 40 | 4 57 50 | 85 58 50 | 5 40 30 | 80 18 20 | 10 38 20 |
| 10. Grenville . . . . . | 94 11 30 | 5 55 | 88 16 30 | 2 47 30 | 85 29 | 8 42 30 |
| 11. Buoe (Keilhauit) . . . . . | 112 31 20 | 3 56 40 | 108 34 40 | 1 57 20 | 106 37 20 | 5 54 20 |



Digitized by Google

Bei der Vergleichung dieser beiden Tabellen sieht man, dass im Allgemeinen die eisenhaltigen Titanite einen grösseren Winkel der optischen Axen haben, als die eisenfreien. Ausgenommen sind der Titanit von Monroe, welcher bei sehr hohem Eisengehalt einen verhältnissmässig kleinen Axenwinkel, und der Titanit vom Zillerthal, welcher bei 1.07 % $Fe_2O_3$ den kleinsten Axenwinkel hat. Dass der Titanit vom Val Maggia bei vollständigem Mangel an Eisen einen ziemlich grossen Axenwinkel aufweist, liesse sich vielleicht durch den Mangangehalt erklären.

Ferner aber geht hervor, dass die Grösse des Axenwinkels bei den eisenhaltigen Titaniten nicht im Verhältniss steht zu dem Eisengehalt, dass also ein gesetzmässiger Zusammenhang hier wohl nicht vorhanden ist.

Die bedeutenden Differenzen können daher nicht auf fremde Beimengungen allein zurückgeführt werden; ihre Ursache mag auch zum Theil auf verschiedenen Entstehungsweisen und Druckerscheinungen beruhen.

Erwähnt sei noch, dass beim Erhitzen der Präparate (selbst über 200° C.) die optischen Eigenschaften keine wesentlichen Veränderungen erlitten.

## II. Krystallographischer Theil.

Die in diesem Theile der Arbeit behandelten Titanitkrystalle stammen von folgenden Fundorten her: Kreuzlithal in Graubünden, Val Maggia, Tavetsch, Ofenhorn, Binnenthal, Kriegalp und Eisbruckalp.

Dazu kommen noch einige Bemerkungen über den canadischen Titanit, von welchem durch die grosse Freundlichkeit des Herrn Geheimrath Prof. Dr. G. vom Rath mehrere Krystalle mir zur Verfügung gestellt wurden.

Die Untersuchungen für dieses Mineral, dessen Kenntniss in krystallographischer Beziehung besonders durch die Arbeiten von F. Hessenberg[1] gefördert worden ist, welcher 44 verschiedene Theilgestalten zusammenstellte, haben nun eine grosse Anzahl neuer Flächen ergeben, so dass im Ganzen

[1] Hessenberg: Abhandl. der Senckenb. naturf. Ges. in Frankf. a. M. 1856—72.

Digitized by Google

75 verschiedene Formen als am Titanit auftretend zu verzeichnen sind.

Im Folgenden sind die Resultate der Untersuchungen zusammengestellt.

1. Titanit vom Kreuzlithal. (Taf. X Fig. 1 u. 2.)

Das vorliegende Stück besteht aus mehreren etwa 2 cm. langen, 1 cm. breiten Krystallen, welche eine Dicke von nur 2—3 mm. haben. Je zwei dieser Krystalle befinden sich in Zwillingsstellung (Durchkreuzungszwillinge nach dem Gesetz Z . E = 0P (C01) = P), und sind zum Theil bedeckt von Adularkrystallen, welche ihrerseits wieder einen Überzug von Chlorit tragen. Die Farbe des Titanits ist eine trüb gelblichgrüne, die Flächen jedoch sind glänzend ausgebildet mit Ausnahme derjenigen des Hemidomas $\frac{1}{2}P\infty$ (Ī02) = x, welche uneben und matt sind. Letztgenannte Fläche ist die an den Krystallen vorherrschende und bedingt die tafelförmige Ausbildung derselben.

Die durch ihren Flächenreichthum ausgezeichneten Krystalle stellen folgende Combination dar:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0P | (001) = P, | $4P4$ | (Ī41) = s, |
| $P\infty$ | (Ī01) = y, | $2P6$ | (Ī63) = d, |
| $\frac{1}{2}P\infty$ | (Ī02) = x, | $\frac{3}{2}P2$ | (Ī23) = n, |
| $\infty P$ | (110) = l, | $-\frac{1}{2}P$ | (112) = i, |
| $\infty P3$ | (130) = M, | $-2P2$ | (121) = t, |
| $P\infty$ | (011) = r, | $-\frac{4}{3}P4$ | (143) = w. |
| $\frac{1}{3}P\infty$ | (013) = o, | | |

Ausser dem schon vorher erwähnten Doma $\frac{1}{2}P\infty$ sind gross ausgebildet die Flächen der Basis 0P (001), des Domas $P\infty$ (Ī01), des Prismas $\infty P$ (110) und bei einigen Krystallen die Flächen der Pyramiden 4P4 (Ī41) und $\frac{3}{2}P2$ (Ī23). Alle übrigen Flächen treten nur sehr untergeordnet auf und sind auch nicht an allen Individuen vorhanden; $-2P2$ (121), $-\frac{4}{3}P4$ (143), $P\infty$ (011) als schmale Streifen in der Zone $\frac{3}{2}P2$ (Ī23) und $\infty P$ (110); $2P6$ (Ī63) und $\infty P3$ (Ī30) in der Zone $P\infty$ (011) und 4P4 (Ī41). Dieser Zonenverband tritt besonders in der geraden Projection (Fig. 2) deutlich hervor.

Es wurde

| | gemessen: | berechnet: | | gemessen: | berechnet: |
|---|---|---|---|---|---|
| 110 : 130 = | 51° 54′ | 52° 17′ | 110 : Ī23 = | 78° 49′ | 78° 50′ |
| 110 : 01Ī = | 73 32 | 73 56 | Ī41 : 14Ī = | 67 55 | 67 58 |

Digitized by Google

| | gemessen: | berechnet: | | gemessen: | berechnet: |
|---|---|---|---|---|---|
| $\bar{1}41 : \bar{1}63 =$ | 20° 9′ | 19° 55′ | $\bar{1}41 : \bar{1}12 =$ | 75° 20′ | 74° 59′ |
| $\bar{1}41 : 011 =$ | 46 37 | 46 40 | $011 : \bar{1}23 =$ | 27 17 | 27 14 |
| $\bar{1}41 : \bar{1}30 =$ | 20 28 | 20 23 | $001 : 013 =$ | 11 36 | 12 19 |
| $\bar{1}41 : \bar{1}2\bar{1} =$ | 48 28 | 48 50 | | | |

Anmerkung. Die nebenstehenden berechneten Werthe sind aus den Elementen, welche Hessenberg angiebt (nach Des Cloizeaux berechnet), abgeleitet, nämlich aus dem Axenverhältniss:

$$a : b : c = 0.427145 : 1 : 0.657564$$

und

$$\beta = 85° 22′ 22″.$$

Dieselben Elemente sind auch bei allen folgenden Berechnungen in Anwendung gekommen. Die Winkel sind hier wie im Folgenden Normalenwinkel.

2. Titanit vom Val Maggia, Cant. Tessin. (Taf. X Fig. 3.)

Die Combination der kleinen mit nur schwach glänzenden Flächen ausgebildeten Krystalle ist folgende:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0P | (001) = P, | $\frac{1}{2}$P | ($\bar{1}12$) = z, |
| $\frac{1}{2}$P∞ | ($\bar{1}02$) = x, | $\frac{1}{4}$P$\frac{1}{2}$ | (274) = Z, |
| P∞ | ($\bar{1}01$) = y, | ∞P | (110) = l, |
| ∞P∞ | (010) = q, | ∞P3 | (130) = M. |
| $\frac{1}{3}$P2 | ($\bar{1}23$) = n, | | |

Die Fläche $\frac{1}{4}$P$\frac{1}{2}$ (274) ist neu. Dieselbe wurde an einem Krystalle beobachtet als Abstumpfung der Combinationskante von $\frac{1}{2}$P∞ ($\bar{1}02$) und ∞P∞ (010) zugleich mit der seltenen Fläche $\frac{1}{2}$P ($\bar{1}12$). Wegen des schwachen Glanzes beider Flächen waren Messungen mit dem Goniometer nur mit aufgesetzter Lupe möglich; dieselben ergaben:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\bar{1}02 : \bar{1}12 =$ | 14° 29′ | berechnet | 15° 8′ 30″ |
| $\bar{1}02 : 2\bar{7}4 =$ | 43 26 | „ | 43 31 30 |

Gemessen wurde ferner:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $010 : 130 =$ | 39° 36′ | berechnet | 38° 3′ 30″ |
| $001 : \bar{1}02 =$ | 39 17 | „ | 39 20 3 |

Für die Pyramide $\frac{1}{4}$P$\frac{1}{2}$ (274) berechnet sich:

$$2\bar{7}4 : 27\bar{4} = 87° 3′; \quad 001 : 2\bar{7}4 = 55° 53′ 15″.$$

Nur selten finden sich Krystalle von Titanit, bei welchen die prismatische Zone so stark hervortritt, wie bei diesem Vorkommen. Vorzüglich sind die Flächen des Prismas ∞P (110)

Digitized by Google

ausgebildet, während die Flächen des Prismas $\infty P3$ (130) und der Symmetrieebene $\infty P\infty$ (010) nur als weniger breite Streifen auftreten. An den Enden der Krystalle findet sich vorwiegend $\frac{1}{2}P\infty$ ($\bar{1}02$), wogegen 0P (001) und $P\infty$ ($\bar{1}01$) ziemlich zurücktreten. Die Flächen der Hemipyramide $\frac{2}{3}P2$ ($\bar{1}23$) sind nur sehr klein und fehlen bei vielen Krystallen vollständig.

Zu erwähnen ist noch, dass sich auf sämmtlichen vier vorliegenden Handstücken dieses Fundortes keine Zwillingskrystalle vorgefunden haben, während doch sonst die aufgewachsenen Titanitkrystalle fast stets Zwillingsbildung erkennen lassen.

### 3. Titanit von Tavetsch (Taf. X Fig. 4.)

Aufgewachsen auf glänzenden durchsichtigen Adularkrystallen fanden sich kleine 2—3 mm. lange Kryställchen von Titanit von blassgelber Farbe und schöner Ausbildung. Zur Messung wurde ein 2 mm. langer, 1 mm. dicker Krystall abgelöst.

Es fanden sich folgende Flächen:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0P | (001) = P, | $\infty P3$ | (130) = M, |
| $\frac{1}{2}P\infty$ | ($\bar{1}02$) = x, | $P\infty$ | (011) = r, |
| $P\infty$ | ($\bar{1}01$) = y, | $\frac{2}{7}P\infty$ | (027) = O, |
| $\frac{2}{3}P2$ | ($\bar{1}23$) = n, | $-\frac{1}{3}P4$ | (143) = w, |
| $4P4$ | ($\bar{1}41$) = s, | $\frac{6}{13}P3$ | ($\bar{6}.2.13$) = L', |
| $-2P2$ | (121) = t, | $\frac{11}{24}P\frac{11}{8}$ | ($\bar{1}\bar{1}.8.24$) = $\Delta$. |
| $\infty P$ | (110) = l, | | |

Die drei Flächen $\frac{2}{7}P\infty$(027), $\frac{6}{13}P3$(6.2.13), $\frac{11}{24}P\frac{11}{8}$ ($\bar{1}\bar{1}.8.24$) sind bisher am Titanit nicht beobachtet worden. Die Flächen des neuen Klinodomas $\frac{2}{7}P\infty$ sind ziemlich gross ausgebildet und stark glänzend. Ihre Neigung zur Basis 0P (001) wurde gemessen zu:

$10^0\ 57'$; berechnet $10^0\ 38'\ 34''$,

somit sehr nahe dem Klinodoma $\frac{1}{3}P\infty$; aber bei den guten Reflexen, welche die Flächen im Goniometer ergaben, ist die Identität der beiden Domen ausgeschlossen.

Die Flächen der Hemipyramide $\frac{6}{13}P3$ ($\bar{6}$ . 2 . 13) liegen in der Zone $\frac{1}{2}P\infty$ ($\bar{1}02$) und $\frac{2}{3}P2$ ($\bar{1}23$) (s. Fig. 4). Das Symbol berechnet sich aus der Neigung:

$\bar{1}02 : 6 . \bar{2} . 13 = 5^0\ 16'$; (berechnet $5^0\ 28'\ 49''$).

Digitized by Google

Diese Pyramide scheint die Ursache einer Knickung zu sein, welche häufig an Titanitkrystallen auf der Fläche des Domas $\frac{1}{2}P\infty$ ($\bar{1}02$) zu beobachten ist. Im vorliegenden Falle war diese Hemipyramide gut ausgebildet und lieferte auch brauchbare Reflexe.

Berechnet wurde noch:

$$\bar{6}.2.13 : \bar{6}.2.13 = 13^0\ 2'\ 54'',$$
$$\bar{6}.2.13 : 001 = 53\ 21\ 47.$$

Die dritte neue Fläche $\frac{1}{4}\frac{1}{4}P\frac{1}{8}$ ($\bar{1}\bar{1}.8.24$) = $\Delta$ liegt in der Zone $\frac{1}{2}P\infty$ ($\bar{1}02$), $\infty P8$ (180), $4P4$ ($\bar{1}41$), wie die vorher erwähnte ebenfalls mit nur geringer Neigung gegen $\frac{1}{2}P\infty$.

Die Messung ergab:

$\bar{1}02 : \bar{1}\bar{1}.8.24 = 10^0\ 57'$; berechnet $10^0\ 50'\ 57''$.

Auch die Flächen dieser Pyramide sind gross ausgebildet und besitzen schönen Glanz. Es berechnet sich für diese Form:

$$\bar{1}\bar{1}.8.24 : \bar{1}\bar{1}.\bar{8}.24 = 28^0\ 41'\ 0''$$
$$\bar{1}\bar{1}.8.24 : 001 = 54\ 33$$
$$\bar{1}1.8.24 : \bar{1}41 = 47\ 44\ 10.$$

| | Gemessen wurde: | berechnet: |
|---|---|---|
| $011 : \bar{1}20$ | $= 27^0\ 8'$ | $27^0\ 14'$ |
| $\bar{1}23 : 143$ | $= 49\ 4$ | $48\ 53$ |
| $\bar{1}23 : 121$ | $= 71\ 27$ | $71\ 21$ |
| $\bar{1}23 : \bar{1}\bar{1}0$ | $= 78\ 44$ | $78\ 50$ |
| $121 : 130$ | $= 27\ 49$ | $28\ 27$ |
| $121 : 14\bar{1}$ | $= 49\ 41$ | $48\ 50$ |
| $121 : 01\bar{1}$ | $= 84\ 19$ | $84\ 30$ |
| $\bar{1}41 : 14\bar{1}$ | $= 67\ 52$ | $67\ 58$ |
| $\bar{1}23 : \bar{6}.2.13$ | $= 24\ 20$ | $23\ 37\ 20''$. |

## 4. Titanit vom Ofenhorn im Binnenthal. (Taf. X Fig. 5 u. 6.)[1]

Die bis 4 mm. langen, 2 mm. breiten Titanitkrystalle vom Ofenhorn haben eine gelblichgrüne Farbe, welche nach den Enden zu allmählig in dunkelbraun übergeht. Sie sind zusammen mit grösseren Quarz- und winzigen Adularkrystallen auf einem Glimmerschiefer aufgewachsen und erhalten durch die vorzügliche Ausbildung einer Zone ein eigenartiges Aussehen.

[1] Die Figur ist so gezeichnet, dass die Hemipyramide $4P4$ = s als verticales Prisma erscheint.

Digitized by Google

Die Untersuchung ergab die Combination folgender 13 Formen:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0P (001) | = P, | $-2\breve{P}2$ (121) | = t, |
| $\breve{P}\infty$ ($\bar{1}01$) | = y, | $-3\breve{P}\frac{3}{2}$ (231) | = $t^1$, |
| $\frac{1}{2}\breve{P}\infty$ (102) | = x, | $-\frac{7}{2}\breve{P}\frac{7}{5}$ (572) | = $t^2$, |
| $\infty$P (110) | = l, | $-\frac{9}{2}\breve{P}\frac{9}{7}$ (792) | = $t^4$, |
| $\frac{3}{2}\breve{P}2$ ($\bar{1}23$) | = n, | $-5\breve{P}\frac{5}{4}$ (451) | = $t^5$ ($\beta$), |
| $4\breve{P}4$ ($\bar{1}41$) | = s, | $-6\breve{P}\frac{6}{5}$ (561) | = $t^6$. |
| $\frac{13}{12}\breve{P}12$ ($\bar{1}$ . 12 . 13) | = D, | | |

Ein Krystall zeigte ausserdem noch die Fläche $\infty$P3 (130) = M.

Neu sind die vier Flächen:

$\frac{13}{12}\breve{P}12$ ($\bar{1}$ . 12 . 13), $-6\breve{P}\frac{6}{5}$ (561), $-\frac{9}{2}\breve{P}\frac{9}{7}$ (792), $-\frac{7}{2}\breve{P}\frac{7}{5}$ (572).

Sie liegen sämmtlich in der Zone:

$\breve{P}\infty$ (101), $\infty$P ($\bar{1}10$), $\breve{P}\infty$ (01$\bar{1}$);

dieselben bewirken zahlreiche Streifen auf den Flächen des Prismas $\infty$P, und runden letzteres nach seiner Combinationskante mit $\frac{3}{2}$P2 hin ab.

Die Fläche $\frac{13}{12}$P12 ($\bar{1}$ . 12 . 13), welche auf den Flächen der Pyramide $\frac{3}{2}$P2 ($\bar{1}23$) eine Streifung verursacht, ist nur sehr schmal ausgebildet; ihre Neigung zu $\frac{3}{2}$P2 wurde gemessen zu 21° 14′ (berechnet 21° 7′ 56″).

Auch wurde gemessen $\bar{1}$ . 12 . 13 : $\bar{1}$01 = 59° 19′,
berechnet = 59° 23′ 56″.

Fernere Berechnungen ergaben:

| | |
|---|---|
| $\bar{1}$ . 12 . 13 : $\bar{1}$ . $\bar{1}$2 . 13 | = 62° 36′ 0″ |
| $\bar{1}$ . 12 . 13 : 001 | = 31 57 20 |
| $\bar{1}$ . 12 . 13 : 110 | = 80 2 4. |

Die übrigen drei Flächen $-6\breve{P}\frac{6}{5}$, $-\frac{9}{2}\breve{P}\frac{9}{7}$, $-\frac{7}{2}\breve{P}\frac{7}{5}$ liegen zwischen $\infty$P (110) und $-2\breve{P}2$ (121) mit den beiden Flächen, $-3\breve{P}\frac{3}{2}$ (231) und $-5\breve{P}\frac{5}{4}$ (451) eine fast continuirliche Reihe bildend, indem die Abschnitte auf der Vertikalaxe fortschreiten wie 2, 3, $3\frac{1}{2}$, $4\frac{1}{2}$, 5, 6, $\infty$. Das fehlende Glied 4 ist durch spätere Untersuchungen ebenfalls hinzugekommen.

Die Fläche $-3\breve{P}\frac{3}{2}$ (231) wurde zuerst von Jeremejew an dem Titanit aus den Achmatowskschen Gruben der Nasjam'schen Berge beobachtet[1]. Jeremejew wählt die Aufstellung für den

[1] P. W. Jeremejew, Titanit des Nasjamschen und des Ilmengebirges. Verhandl. d. kais. russ. min. Ges. [2] XVI. 1881 (cf. Groth, Zeitschr. f. Kryst. V. 499).

Digitized by Google

Titanit, wie sie Des Cloizeaux angiebt, und darnach erhält diese Form das Zeichen (334) = $\frac{3}{4}$P. Bei den Krystallen vom Ofenhorn sind die Flächen dieser Form nur als schmale Streifen ausgebildet. Gemessen wurde ihre Neigung zum Prisma 110 : 231 = 16° 49′, berechnet 17° 32′ 27″. Es berechnet sich ferner:

231 : 2$\bar{3}$1 = 61° 29′ 40″
231 : 001 = 71 6 17
231 : 10$\bar{1}$ = 58 6 27.

Diese Fläche liegt auch noch in der Zone: —P∞ (101), ∞P3 (130), 3P∞ (03$\bar{1}$), und es berechnet sich:

101 : 231 = 33° 32′ 5″.

Ebenfalls nur als schmaler Streifen erscheint die Fläche —$\frac{7}{2}$P$\frac{7}{5}$ (572) = t$^2$.

Gemessen wurde 572 : 110 = 14°, berechnet 14° 26′ 44″.

Fernere Berechnungen ergaben:

572 : 5$\bar{7}$2 = 59° 7′ 40″
572 : 001 = 70 40 3
572 : 10$\bar{1}$ = 55 0 44.

Auch die Fläche —$\frac{2}{3}$P$\frac{2}{7}$ (792) = t$^4$ ist nur schmal entwickelt. Es wurde gemessen:

792 : 110 = 10° 32′; berechnet 10° 37′ 10″.

Folgende Winkel wurden berechnet:

792 : 7$\bar{9}$2 = 56° 0′ 28″
792 : 001 = 76 49 37
792 : 10$\bar{1}$ = 51 11 10.

Grösser sind die Flächen der Hemipyramide —5P$\frac{5}{4}$ (451) ausgebildet. Diese Fläche wurde durch G. vom Rath[1] am Titanit von Zöptau bestimmt durch die Messung:

—5P$\frac{5}{4}$ : ∞P = 9° 30′; berechnet 9° 23′ 45″.

Erwähnt wird an betreffender Stelle, dass vielleicht eher die Fläche —4P$\frac{4}{3}$ (341) zu erwarten gewesen wäre, die sich durch zwei Zonen bestimme, dass aber diese Fläche nicht vorkäme. Bei der vorzüglichen Ausbildung der Zone —2P$\bar{2}$ (121), ∞P (110) etc. an diesen Krystallen vom Ofenhorn ist es allerdings befremdlich, dass die Fläche —4P$\frac{4}{3}$ (341) nicht vorgefunden wurde, während Flächen mit viel complicirteren

[1] Groth, Zeitschr. f. Kryst. V. 255. 1881.

Digitized by Google

Indices vorhanden sind. Ich habe jedoch Gelegenheit im weiteren Verlaufe der Arbeit nochmals auf diese Fläche zurückzukommen bei der Besprechung eines Krystalles von der Eisbruckalp, an welchem dieselbe thatsächlich nachgewiesen wurde.

Die Fläche $-6P\frac{6}{5}$ (561) = $t^6$ ist ebenfalls ziemlich schmal entwickelt. Gemessen wurde:

110 : 561 = 8° 18′, berechnet 7° 36′ 50″.

Berechnungen ergaben:

561 : 5$\bar{6}$1 = 53° 23′ 0″
561 : 001 = 79 21 24
561 : 10$\bar{1}$ = 48 10 50.

Bei weitem vorherrschend an den Krystallen sind aber die Flächen der Pyramide 4P4 ($\bar{1}$41) (Fig. 6), und von tadellosem Glanze. Vorzüglich waren auch die allerdings nicht sehr gross vorhandenen Flächen 0P (001), $\frac{1}{2}P\infty$ ($\bar{1}$02), $P\infty$ ($\bar{1}$01) zu Messungen geeignet. Diese ergaben:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\bar{1}$01 : $\bar{1}$10 | = 40° 40′, | berechnet | 40° 34′ |
| $\bar{1}$01 : $\bar{1}$2$\bar{1}$ | = 70 13 | „ | 70 23 |
| $\bar{1}$02 : $\bar{1}$01 | = 20 57 | „ | 21 |
| $\bar{1}$02 : 001 | = 39 15 | „ | 39 17 |
| $\bar{1}$41 : 14$\bar{1}$ | = 67 51 | „ | 67 58 |
| $\bar{1}$41 : $\bar{1}$01 | = 55 59 | „ | 56 1 |
| $\bar{1}$23 : $\bar{1}$23 | = 43 45 | „ | 43 48. |

## 5. Titanit vom Binnenthal. (Taf. X Fig. 7 u. 8.)[1]

Die vorliegenden Krystalle sind auf Adular aufgewachsen und (mit diesem zugleich) zum Theil mit Chlorit überzogen. Weniger auffallend durch Flächenreichthum, als durch eine dem Titanit fremde Ausbildungsweise — sie haben fast die Gestalt einer vierseitigen Doppelpyramide —, erinnern dieselben auf den ersten Anblick durchaus nicht an Titanit. Dazu kommt noch eine eigenthümliche dunkelviolettbraune Färbung, die zuweilen in schwarz übergeht, nur hie und da hellere Flecken zurücklassend. In der Grösse schwanken die Krystalle von $\frac{1}{4}$ bis 3 mm. Von vorzüglichem Glanze und daher besonders zu Messungen geeignet waren die kleineren Krystalle, bei den grösseren sind die Flächen meist rauh und

[1] Der Krystall ist so um die Axe b gedreht, dass die Basis P in der Zeichnung als Orthopinakoïd erscheint.



Digitized by Google

matt, und diese sind es auch, welche, wie schon oben bemerkt, einen Überzug von Chlorit tragen.

Folgende Flächen treten auf:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0P | (001) = P, | $\infty$P3 | (130) = M, |
| $\frac{1}{2}$P$\infty$ | ($\bar{1}$02) = x, | —2P2 | (121) = t, |
| $\frac{3}{5}$P2 | ($\bar{1}$23) = n, | —6P2 | (361) = U, |
| 4P4 | ($\bar{1}$41) = s, | —4P$\frac{3}{5}$ | (5 . 12 . 3) = l$^3$. |

Wie aus den Figuren 7 und 8 zu erkennen, ist der pyramidale Habitus der Krystalle bedingt durch das vorwiegende Auftreten der beiden Hemipyramiden —2P2 (121) und $\frac{3}{5}$P2 ($\bar{1}$23). Im Vergleich zu diesen beiden Formen sind alle übrigen nur untergeordnet vorhanden. Von besonders gutem Glanz ist das Hemidoma $\frac{1}{2}$P$\infty$ ($\bar{1}$02), welches bekanntlich bei den meisten Titanitkrystallen uneben und daher zu genauen Messungen nicht geeignet ist.

Als neue Flächen sind zu verzeichnen:

—6P2 (361) = U und —4P$\frac{3}{5}$ (5 . 12 . 3) = l$^3$.

Die Fläche U fand sich als schmale aber spiegelnde Abstumpfung der Combinationskante von —2P2 (121) und $\frac{3}{5}$P2 ($\bar{1}$23) mit einer Neigung gegen —2P2 (121) von 15° 58′ (berechnet 16° 27′). Für diese Fläche ergeben sich noch zwei andere Zonen:

1. —P$\infty$ (101), —3P$\frac{3}{2}$ (231), —6P2 (361), $\infty$P3 (130).
2. $\infty$P (110), —6P2 (361), 3P$\infty$ (031), 2P2 ($\bar{1}$21).

Es berechnen sich folgende Neigungen:

361 : 3$\bar{6}$1 = 78° 41′ 28″
361 : 001 = 77 14 3
361 : 101 = 43 16
361 : 110 = 20 51 3.

Eine Streifung auf den Flächen von —2P2 (121) parallel verlaufend der Combinationskante von —2P2 (121) und $\infty$P3 (130) deutete auf das Vorhandensein einer Fläche dieser Zone. Mit Hülfe des Goniometers wurde die Neigung dieser Fläche gegen $\infty$P3 (130) zu 16° 16′ gemessen. Daraus berechnet sich das Symbol —4P$\frac{3}{5}$ (5 . 12 . 3) = l$^3$; die berechnete Neigung ist 16° 39′.

Diese Form liegt ferner in der Zone:

$\infty$P (110), 2P6 ($\bar{1}$63).

Berechnet wurden die Winkel:

5 . 12 . 3 : 5 . $\bar{1}$2 . 3 = 85° 42′ 54″,
5 . 12 . 3 : 001 = 71 38 39.

Digitized by Google

Weitere Messungen ergaben:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $121 : 1\bar{2}1 =$ | 69° 57′, | berechnet | 69° 8′ |
| $\bar{1}23 : \bar{1}\bar{2}3 =$ | 44 8 | „ | 43 48 |
| $121 : \bar{1}\bar{2}3 =$ | 71 23 | „ | 71 21 |
| $121 : \bar{1}23 =$ | 83 14 | „ | 84 9 |
| $001 : \bar{1}02 =$ | 39 15 | „ | 39 17 |
| $001 : \bar{1}41 =$ | 73 46 | „ | 73 55 |
| $\bar{1}23 : 001 =$ | 34 50 | „ | 35 4 |
| $121 : 001 =$ | 60 49 | „ | 60 47 |
| $\bar{1}02 : \bar{1}41 =$ | 58 33 | „ | 58 35 7″ |
| $\bar{1}02 : \bar{1}2\bar{1} =$ | 86 42 | „ | 87 29 |
| $130 : 121 =$ | 28 33 | „ | 28 27 |
| $14\bar{1} : 121 =$ | 49 3 | „ | 48 50 |

Erwähnenswerth ist noch, dass sich auf vorliegender Stufe keine Zwillingsgestalten vorgefunden haben, sondern ausschliesslich einfache Krystalle. Dasselbe gilt übrigens auch für die Krystalle vom Ofenhorn, welche ebenfalls keine Zwillingsbildung erkennen lassen.

## 6. Titanit vom Schwarzenstein im Zillerthal.

(Taf. X Fig. 9 u. Taf. XI Fig. 10.)

An einem der bekannten grossen Krystalle von Titanit vom Schwarzenstein, von hellgrüner Farbe und klar durchsichtiger Beschaffenheit, tafelförmig nach der Basis ausgebildet, fand sich in einer Art Hohlraum angewachsen ein kleiner nicht ganz 3 mm. langer, 1 mm. dicker Krystall mit prachtvoll glänzenden Flächen. Da derselbe einen ausserordentlichen Flächenreichthum verrieth und ausserdem durch die Ausbildungsweise die Aufmerksamkeit auf sich lenkte, so löste ich ihn zur näheren Untersuchung ab. Bei dem Gewirre von Flächen und dem unsymmetrischen Bau des Kryställchens war es anfangs schwer, vorerst dasselbe in die richtige Stellung zu bringen.

Dasselbe stellt folgende Combination dar:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $0P$ | $(001) = P,$ | $\frac{1}{4}P$ $(\bar{4}45)$ | $= \mu,$ |
| $\frac{1}{2}P\infty$ | $(\bar{1}02) = x,$ | $\frac{3}{2}P2$ $(\bar{1}23)$ | $= n,$ |
| $\frac{1}{3}P\infty$ | $(\bar{1}03) = o',$ | $2P6$ $(\bar{1}63)$ | $= d,$ |
| $\infty P\infty$ | $(010) = q,$ | $\frac{10}{3}P10$ $(\bar{1}.10.3)$ | $= \varrho,$ |
| $8P8$ | $(\bar{1}81) = \zeta,$ | $-2P2$ $(121)$ | $= t,$ |
| $4P4$ | $(\bar{1}41) = s,$ | $-\frac{3}{2}P3$ $(132)$ | $= \xi,$ |
| $2P2$ | $(\bar{1}21) = \varepsilon,$ | $-\frac{4}{3}P4$ $(143)$ | $= w,$ |
| $P2$ | $(\bar{1}22) = A,$ | $P\infty$ $(\bar{1}01)$ | $= y.$ |



Digitized by Google

Davon sind neu die Flächen:

$$P2\,(\bar{1}22) = A \text{ und } \tfrac{4}{5}P\,(\bar{4}45) = \mu.$$

Über die Ausbildungsweise ist folgendes zu bemerken. Zunächst ist nur eine Seite des Krystalls ausgebildet, etwa so, wie es die gerade Projection Taf. II Fig. 10 darstellt, wobei aber die correspondirenden Flächen meist ganz verschiedene Ausdehnung haben. Am ausgedehntesten zeigt sich eine Fläche der Hemipyramide 4P4 ($\bar{1}41$) = s, an derselben Seite und ebenfalls gross ausgebildet sind $\frac{1}{3}P10\,(\bar{1}.10.3) = \varrho$, $-\frac{4}{3}P4\,(143) = w$ und $\frac{4}{5}P\,(\bar{4}45) = \mu$.

An der anderen Seite d. h. der anderen Hälfte der ausgebildeten Seite des Krystalls, ist am grössten entwickelt $2P2\,(\bar{1}21) = \varepsilon$, $P2\,(\bar{1}22) = A$ und $P\infty\,(\bar{1}01) = y$. Alle übrigen Flächen sind mehr oder weniger untergeordnet vorhanden.

Die Hemipyramide $\frac{4}{5}P\,(\bar{4}45) = \mu$ wurde bestimmt durch die Zone:

$$2P2\,(\bar{1}21),\ 2P6\,(163)$$

und ihre Neigung gegen $2P2\,(\bar{1}21)$ gemessen zu $18^0\,30'$, berechnet $17^0\,53'\,30''$. Die Fläche ist, wie schon angegeben, an der einen Seite des Krystalls gross vorhanden, besitzt aber nicht den Glanz, den die meisten übrigen Flächen haben; sie ist vielmehr rauh und gestreift parallel der Combinationskante mit der an dieser Seite des Krystalls nur klein vorhandenen Fläche $P2\,(\bar{1}22)$.

Diese Fläche $\frac{4}{5}P$ liegt nun ausser in der Zone $0P\,(001)$, $\frac{4}{5}P\,(\bar{1}12)$ auch in der Zone:

$$\tfrac{1}{2}P\infty\,(\bar{1}02),\ \tfrac{4}{5}P\,(\bar{4}45),\ \tfrac{4}{5}P4\,(145),$$

so dass sich also ein schöner Zonenverband für dieselbe ergiebt.

Folgende Werthe wurden berechnet:

$$\begin{aligned}
\bar{4}45 : \bar{4}\bar{4}5 &= 38^0\ \ 5'\ 20'' \\
\bar{4}45 : 001 &= 56\ \ 0\ \ 7 \\
\bar{4}45 : \bar{1}02 &= 23\ 44\ 15 \\
\bar{4}45 : 1\bar{4}5 &= 58\ \ 4\ \ 8.
\end{aligned}$$

Der Werth der Hemipyramide $P2\,(\bar{1}22) = A$ war von vornherein durch zwei Zonen gegeben:

1. $0P\ (001),\ 2P2\,(\bar{1}21),\ -2P2\,(\bar{1}2\bar{1}),$
2. $P2\,(\bar{1}22),\ 2P6\,(\bar{1}63),\ \ 2P2\,(12\bar{1}),$

hieraus leitet sich das Zeichen $P2\,(\bar{1}22)$ ab. Ausserdem wurde aber auch gemessen:

Digitized by Google

$\bar{1}22 : \bar{1}21 = 18° 23'$, berechnet $18° 9' 47''$
$\bar{1}22 : \bar{1}2\bar{1} = 61\ 18$ „ $60\ 49\ 36$.

Die Fläche liegt noch in zwei weiteren Zonen:

1. $\frac{1}{2}P\infty$ ($\bar{1}02$), $\frac{1}{2}P$ ($\bar{1}12$), $P2$ ($\bar{1}22$), $\infty P\infty$ (010),
2. $P\infty$ (011), $P2$ ($\bar{1}22$), $-P\frac{3}{2}$ (233).

Es berechnen sich folgende Winkel für diese Fläche:

$\bar{1}22 : \bar{1}\bar{2}2 = 56° 55' 20''$
$\bar{1}22 : 001 = 47\ 7\ 15$
$\bar{1}22 : 011 = 35\ 7\ 33$
$\bar{1}22 : \bar{1}02 = 28\ 27\ 40$.

Der grosse Krystall, von welchem das besprochene Stück abgelöst wurde, ist etwa 6 cm. lang und 3 cm. breit. Er ist tafelförmig ausgebildet durch das Vorherrschen der Basis 0P (001), daneben treten auf:

$P\infty$ ($\bar{1}01$) = y, $P\infty$ (011) = r, $\frac{1}{2}P2$ ($\bar{1}23$) = n.

Die Ergebnisse der Messungen sind:

| | | gemessen: | berechnet: |
|---|---|---|---|
| $\bar{1}41$ | : $14\bar{1}$ | = 67° 56′ | 67° 58′ 10″ |
| $\bar{1}.10.3$ | : $1.10.\bar{3}$ | = 52 59 | 52 53 4 |
| $\bar{1}.10.3$ | : $\bar{1}03$ | = 63 27 | 63 33 28 |
| $\bar{1}.10.3$ | : 010 | = 26 31 | 26 26 32 |
| $\bar{1}41$ | : $\bar{1}21$ | = 19 28 | 19 24 54 |
| $\bar{1}41$ | : $\bar{1}81$ | = 15 18 | 15 22 53 |
| $\bar{1}41$ | : 010 | = 33 53 | 33 58 35 |
| $\bar{1}.10.3$ | : $\bar{1}41$ | = 17 37 | 17 37 12 |
| 143 | : 010 | = 53 5 | 53 1 |
| 143 | : 121 | = 22 27 | 22 28 |
| 143 | : $14\bar{1}$ | = 61 57 | 61 53 14 |
| 143 | : 132 | = 6 30 | 6 46 |
| $\bar{1}23$ | : $\bar{1}63$ | = 72 36 | 72 31 30 |
| $\bar{1}63$ | : $\bar{1}.10.3$ | = 13 13 | 13 12 58. |

## 7. Titanit von der Kriegalp im Binnenthal. (Taf. XI Fig. 11—15.)

Von diesem Fundort war ein Handstück vorhanden, grösstentheils bestehend aus Adularkrystallen, zwischen und auf welchen kleine glänzende hellgelbe Kryställchen von Titanit sich gebildet hatten. Zur Untersuchung schienen besonders drei dieser Krystalle geeignet zu sein, welche sorgfältig abgelöst wurden, und die ich hier der Kürze halber mit I, II, III bezeichnen will. Die beiden ersteren sind ein-

Digitized by Google

fache Krystalle, während der dritte einen Zwilling nach dem gewöhnlichen Gesetz Z . E = 0P (001) darstellt.

I. (Fig. 11 und 12). Dieser Krystall ist kaum $1\frac{1}{2}$ mm. lang, $\frac{1}{3}$ mm. dick und tafelförmig ausgebildet durch Vorwalten des Domas $\frac{1}{2}P\infty$ ($\bar{1}02$) = x.

Die Combination ist folgende:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0P | (001) = P, | $4P4$ ($\bar{1}41$) | = s, |
| $\frac{1}{2}P\infty$ | ($\bar{1}02$) = x, | $+\frac{4}{5}P2$ ($\bar{3}$ . 6 . 10) | = $\psi$, |
| $P\infty$ | ($\bar{1}01$) = y, | $-8P\frac{8}{3}$ (381) | = l'. |
| $\infty P3$ | (130) = M, | | |

Alle Flächen sind glänzend, eben und scharf ausgebildet; neben $\frac{1}{2}P\infty$ ($\bar{1}02$) noch vorwiegend $P\infty$ ($\bar{1}01$), kleiner sind $4P4$ ($\bar{1}41$) und $\infty P3$ (130); die Basis 0P (001) ist ziemlich schmal aber lang. Neu sind die beiden Formen:

$$\frac{4}{5}P2\ (\bar{3}\ .\ 6\ .\ 10) = \psi \text{ und } -8P\tfrac{8}{3}\ (381) = l'.$$

Die erstere liegt in der Zone:

$$\tfrac{1}{2}P\infty\ (\bar{1}02),\ \infty P3\ (130),$$

und tritt als Abstumpfung der Combinationskante dieser beiden Formen auf, dabei jedoch mehr nach $\frac{1}{2}P\infty$ ($\bar{1}02$) hin geneigt. Gemessen wurde ihre Neigung zu $\infty P3$ (130):

$$130 : \bar{3}\ .\ 6\ .\ 10 = 86^0\ 8';\quad \text{berechnet } 86^0\ 7'\ 27''.$$

Ferner wurde berechnet:

$$\bar{3}\ .\ 6\ .\ 10 : \bar{3}\ .\ \bar{6}\ .\ 10 = 40^0\ 36'\ 44'',$$
$$\bar{3}\ .\ 6\ .\ 10 : 001 = 32\ 14\ 48.$$

Die Fläche $-8P\frac{8}{3}$ (381) = l' liegt in der Zone $4P4$ ($\bar{1}41$), $\infty P3$ ($\bar{1}30$) über $\infty P3$ hinaus mit der Neigung:

$$\bar{1}30 : 381 = 8^0\ 59';\quad \text{berechnet } 8^0\ 56'\ 31''.$$

Diese Fläche ist nur klein ausgebildet, lieferte aber wegen ihres vollkommenen Glanzes sehr gute Reflexe. Dieselbe Form ist auch bei den übrigen Krystallen dieses Fundortes vorhanden, für welchen überhaupt die Ausbildung dieser Zone charakteristisch zu sein scheint.

Berechnet wurde noch:

$$381 : \bar{3}8\bar{1} = 84^0\ 53'\ 56''$$
$$381 : 001 = 78\ 47\ 4.$$

Messungen an dem Krystall ergaben:

Digitized by Google

| | gemessen: | berechnet: |
|---|---|---|
| $\bar{1}41 : \bar{1}\bar{4}1$ | = 67° 52′, | 67° 58′ |
| $\bar{1}41 : \bar{1}30$ | = 20 15 | 20 23 |
| $001 : \bar{1}02$ | = 39 46 | 39 17 |
| $\bar{1}02 : \bar{1}01$ | = 20 37 | 21 |
| $\bar{1}01 : 001$ | = 60 11 | 60 17 |
| $\bar{1}01 : \bar{1}41$ | = 56 4 | 56 1 |
| $\bar{1}01 : \bar{1}30$ | = 59 30 | 59 30. |

II. Bedeutend flächenreicher ist Krystall II (Fig. 13 u. 14), in seinen Dimensionen nur wenig verschieden von dem eben beschriebenen, um ein Geringes grösser. Vorzüglich ist die Randzone $4P4$ $(\bar{1}41)$, $\infty P3$ $(\bar{1}30)$, $-2P2$ $(\bar{1}2\bar{1})$ entwickelt, wie es besonders bei der geraden Projection Fig. 14 hervortritt. Der Krystall ist tafelförmig nach $\frac{1}{2}P\infty$ $(\bar{1}02)$. Folgende Flächen treten auf:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $0P$ (001) | = P, | $\frac{2}{3}P2$ $(\bar{1}23)$ | = n, |
| $\frac{1}{2}P\infty$ $(\bar{1}02)$ | = x, | $4P4$ $(\bar{1}41)$ | = s, |
| $P\infty$ $(\bar{1}01)$ | = y, | $2P6$ $(\bar{1}63)$ | = d, |
| $P\infty$ (011) | = r, | $16P\frac{16}{15}$ $(\bar{5}.16.1)$ | = K, |
| $\infty P3$ (130) | = M, | $-8P\frac{8}{3}$ (381) | = l′, |
| $\frac{10}{9}P10$ $(\bar{1}0.1.9)$ | = y″, | $-5P\frac{5}{2}$ (251) | = l². |
| $\frac{1}{4}P5$ $(\bar{5}14)$ | = y′, | | |

Der Krystall liefert somit vier für den Titanit neue Gestalten:

$\frac{10}{9}P10$ $(\bar{1}0.1.9)$, $\frac{1}{4}P5$ $(\bar{5}14)$, $16P\frac{16}{15}$ $(\bar{5}.16.1)$, $-5P\frac{5}{2}$ (251).

Ausser $\frac{1}{2}P\infty$ $(\bar{1}02)$ ist gross ausgebildet $P\infty$ $(\bar{1}01)$, $0P$ (001) und $\frac{2}{3}P2$ $(\bar{1}23)$, sehr klein nur $P\infty$ (011). Alle Flächen aber besitzen eine vollkommene Beschaffenheit, ausgenommen sind nur die beiden neuen Hemipyramiden der orthodiagonalen Reihe, auf die ich weiter unten noch zurückkommen werde.

Die Flächen $-5P\frac{5}{2}$ (251) und $16P\frac{16}{15}$ $(\bar{5}.16.1)$ liegen in der Zone:

$2P6$ $(\bar{1}63)$, $4P4$ $(\bar{1}41)$, $\infty P3$ $(\bar{1}30)$.

Die erstere ist ziemlich gross entwickelt und liegt über $-8P\frac{8}{3}$ (381) hinaus, deren Ausbildung an diesem Krystall ebenfalls sehr gut ist. Gemessen wurde:

| | | |
|---|---|---|
| $130 : 251$ | = 13° 32′, | berechnet 13° 42′ 51″ |
| $251 : 381$ | = 4 55 | „ 4 46 20 |
| $251 : \bar{1}23$ | = 79 44 | „ 80 39 28. |

Digitized by Google

Die Fläche liegt noch in den beiden folgenden Zonen:

1. $\frac{1}{2}P\infty$ ($\bar{1}02$), $\frac{2}{3}P2$ ($\bar{2}13$), $P\infty$ ($01\bar{1}$).
2. $\infty P$ ($\bar{1}10$), $6P2$ ($\bar{3}6\bar{1}$), $3P\infty$ ($03\bar{1}$), $2P2$ ($12\bar{1}$).

Es berechnet sich:

$$\begin{aligned}
251 : 25\bar{1} &= 84^0\ 24'\ 10'' \\
251 : 001 &= 76\ 49\ 27 \\
251 : 110 &= 25\ 6\ 9 \\
251 : 01\bar{1} &= 80\ 45\ 51 \\
251 : \bar{1}02 &= 75\ 51\ 5.
\end{aligned}$$

Die Fläche $16P\frac{16}{5}$ ($\bar{5}$ . 16 . 1) = K stumpft die Combinationskante von $4P4$ ($\bar{1}41$) und $\infty P3$ ($\bar{1}30$) ab, und tritt nur als schmale Linie auf.

| | Gemessen wurde: | berechnet: |
|---|---|---|
| $\bar{5}$ . 16 . 1 : $\bar{1}30$ = | 4° 41′ | 4° 58′ 9″ |
| $\bar{5}$ . 16 . 1 : $\bar{1}41$ = | 16 10 | 15 24 51. |

Berechnet wurde noch:

$$\begin{aligned}
\bar{5} . 16 . 1 : 5 . 16 . \bar{1} &= 72^0\ 19'\ 54'' \\
\bar{5} . 16 . 1 : 001 &= 88\ 11\ 47.
\end{aligned}$$

Die beiden positiven Hemipyramiden $\frac{10}{9}P10$ ($\bar{1}0$ . 1 . 9) und $\frac{5}{4}P5$ ($\bar{5}14$) liegen in der Zone:

$$P\infty\ (\bar{1}01),\quad P\infty\ (01\bar{1}),\quad \tfrac{2}{3}P2\ (12\bar{3}),$$

beide mit nur geringer Neigung gegen $P\infty$ ($\bar{1}01$).

Die Flächen dieser Formen sind nicht scharf begrenzt, sondern gehen in einander über und bewirken so eine Rundung an den Ecken von $P\infty$ ($\bar{1}01$). Daher waren auch die Reflexe sehr verschwommen, so dass die Bestimmung der Neigungen nur sehr approximativ ist.

Es fand sich für die erstere der beiden Flächen eine Neigung von $3\frac{1}{2}^0$ gegen $P\infty$ ($\bar{1}01$), woraus sich der Werth $\frac{10}{9}P10$ ($\bar{1}0$ . 1 . 9) ableitet, berechnet ist:

$$\begin{aligned}
\bar{1}0 . 1 . 9 : \bar{1}01 &= 3^0\ 36'\ 24'' \\
\bar{1}0 . 1 . 9 : \bar{1}0 . \bar{1} . 9 &= 4\ 22 \\
\bar{1}0 . 1 . 9 : 001 &= 63\ 11\ 55.
\end{aligned}$$

Für die zweite Fläche wurde gemessen:

$$\bar{5}14 : \bar{1}01 = 7^0,\ \text{berechnet}\ 7^0\ 27'\ 7'',$$

woraus sich der genannte Werth für die Pyramide ergiebt.

Es berechnet sich ferner:

$$\begin{aligned}
\bar{5}14 : \bar{5}\bar{1}4 &= 8^0\ 57'\ 44'' \\
\bar{5}14 : 001 &= 66\ 19\ 10.
\end{aligned}$$

Digitized by Google

Weitere Messungen an dem Krystall lieferten:

| | gemessen: | berechnet: | | gemessen: | berechnet: |
|---|---|---|---|---|---|
| $\bar{1}63 : \bar{1}\bar{6}3$ | $= 79^0\ 27'$ | $79^0\ 19'\ 0''$ | $130 : 10\bar{1}$ | $= 59^0\ 39'$ | $59^0\ 30'$ |
| $\bar{1}63 : \bar{1}23$ | $= 27\ 55$ | $28\ 8$ | $001 : \bar{1}01$ | $= 60\ 19$ | $60\ 17$ |
| $\bar{1}41 : \bar{1}30$ | $= 20\ 51$ | $20\ 23$ | $001 : \bar{1}02$ | $= 39\ 23$ | $39\ 17$ |
| $381 : \bar{1}23$ | $= 81\ 14$ | $81\ 11\ 55$ | $\bar{1}01 : 011$ | $= 65\ 1$ | $65\ 30$ |
| $381 : 130$ | $= 8\ 37$ | $8\ 56\ 31$ | $\bar{1}01 : \bar{1}23$ | $= 38\ 7$ | $38\ 6.$ |
| $130 : \bar{1}23$ | $= 85\ 48$ | $86\ 5\ 36$ | | | |

III. Der dritte Krystall ist, wie schon erwähnt, ein Zwilling; er ist bedeutend grösser als die beiden vorher genannten, etwa 5 mm. lang, $1\frac{1}{2}$ mm. dick, hat aber dieselbe hellgelbe Farbe und ist klar durchsichtig (Fig. 15).

Die Combination ist:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0P | $(001) = P,$ | $4\breve{P}4$ | $(\bar{1}41) = s,$ |
| $\frac{1}{2}\breve{P}\infty$ | $(\bar{1}02) = x,$ | $16\breve{P}\frac{16}{5}$ | $(\bar{5}.16.1) = K,$ |
| $\breve{P}\infty$ | $(\bar{1}01) = y,$ | $\frac{5}{4}\breve{P}5$ | $(\bar{5}14) = y',$ |
| $\infty P$ | $(110) = l,$ | $\frac{10}{9}\breve{P}10$ | $(\bar{1}0.1.9) = y'',$ |
| $\infty\breve{P}3$ | $(130) = M,$ | $-5\breve{P}\frac{5}{2}$ | $(251) = l^2,$ |
| $\frac{1}{3}\breve{P}2$ | $(\bar{1}23) = n,$ | $-8\breve{P}\frac{8}{3}$ | $(381) = l'.$ |

Somit ungefähr dieselbe Combination wie Krystall II, nur fehlen hier die beiden Flächen $2\breve{P}6\,(\bar{1}63) = \delta$, und $\breve{P}\infty\,(011) = r$. wogegen an Krystall II das Hauptprisma $\infty P\,(110) = l$ nicht vorhanden ist. Die Ausbildung selbst aber ist im Ganzen verschieden von derjenigen der einfachen Krystalle.

Zwar ist auch bei diesem Zwilling die Fläche des Domas $\frac{1}{2}\breve{P}\infty\,(\bar{1}02)$ sowie $\breve{P}\infty\,(\bar{1}01)$ ziemlich gross entwickelt, seine tafelförmige Gestalt aber erhält derselbe durch das Vorherrschen der Basis $0P\,(001) = P$. Die Flächen $-8\breve{P}\frac{8}{3}\,(381)$ und $-5\breve{P}\frac{5}{2}\,(251)$, von welchen ich vorher bemerkte, dass sie gross ausgebildet seien, treten hier zurück, bleiben aber stark glänzend; dagegen ist das Prisma $\infty\breve{P}3\,(130)$ sehr gross vorhanden, und seine Flächen zeigen eine Streifung, welche der Combinationskante mit $16\breve{P}\frac{16}{5}\,(5.16.1)$ parallel verläuft und auch durch das Auftreten letzterer Form bedingt ist.

| | Messungen lieferten: | berechnet: |
|---|---|---|
| $381 : 251$ | $= 4^0\ 24'$ | $4^0\ 46'\ 20''$ |
| $130 : 381$ | $= 8\ 26$ | $8\ 56\ 31$ |
| $130 : 5.16.\bar{1}$ | $= 4\ 32$ | $4\ 58\ 9$ |
| $14\bar{1} : 130$ | $= 20\ 37$ | $20\ 23$ |
| $001 : \bar{1}10$ | $= 85\ 42$ | $85\ 45$ |

Digitized by Google

| | gemessen: | berechnet: |
|---|---|---|
| 001 : $\bar{1}01$ | = 60° 23′ | 60° 17′ |
| 001 : $\bar{1}02$ | = 39 19 | 39 17 |
| 101 : $\bar{1}30$ | = 59 30 | 59 30 |
| $\bar{1}30$ : $12\bar{3}$ | = 86 9 | 86 5 36″ |
| $\bar{1}41$ : $\bar{1}23$ | = 41 48 | 41 34 11 |
| $\bar{1}01$ : $\bar{1}10$ | = 40 28 | 40 34 |
| $\bar{1}01$ : $\bar{1}23$ | = 38 3 | 38 6 |
| $\bar{1}41$ : 5 . 16 . 1 | = 16 34 | 15 24 51 |
| $\bar{1}41$ : $38\bar{1}$ | = 29 31 | 29 19 31 |
| $\bar{1}41$ : $25\bar{1}$ | = 33 40 | 34 17 40 |
| $\bar{1}41$ : $\bar{1}01$ | = 56 9 | 56 1 |
| $\bar{1}41$ : $\bar{1}41$ | = 67 45 | 67 58 |
| 251 : 001 | = 78 32 | 78 47 4. |

## 8. Titanit von der Eisbruckalp.

(Taf. XI Fig. 16—20 und Taf. XII Fig. 21.)

Von einem grossen mit schön ausgebildeten grünen Titanitkrystallen bedeckten Handstück löste ich ein durch seinen Flächenreichthum ins Auge fallendes Kryställchen ab, von nur $1\frac{1}{2}$ mm. Länge, 1 mm. Dicke, ein Zwilling nach dem gewöhnlichen Gesetz

$$Z . E = 0P\,(001) = P.$$

Der besseren Übersicht der Formen halber habe ich den Krystall in der schiefen Projection nur als einfaches Individuum gezeichnet (Fig. 16), die gerade Projection Fig. 17 zeigt die Zwillingsgestalt.

Folgende Flächen treten auf:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0P | (001) = P, | $\frac{2}{3}$P2 | ($\bar{1}23$) = n, |
| $\frac{1}{2}$P$\infty$ | ($\bar{1}02$) = x, | 2P6 | ($\bar{1}63$) = d, |
| P$\infty$ | ($\bar{1}01$) = y, | $\frac{1}{2}$P$\frac{1}{5}$ | (5 . 21 . 6) = $\Sigma$, |
| $\infty$P | (110) = l, | $-\frac{1}{2}$P | (112) = i, |
| $\infty$P3 | (130) = M, | $-2$P2 | (121) = t, |
| $\infty$P$\infty$ | (010) = q, | $-4$P$\frac{4}{3}$ | (341) = $t^3$. |
| P$\infty$ | (011) = r, | | |

Vorherrschend sind die Flächen $\frac{1}{2}$P$\infty$ ($\bar{1}02$), P$\infty$ ($\bar{1}01$), $\infty$P (110), $\frac{2}{3}$P2 ($\bar{1}23$) und 0P (001), ziemlich gross ist auch P$\infty$ (011) ausgebildet. Neu sind die Flächen:

$$-4P\tfrac{4}{3}\,(341) = t^3 \text{ und } \tfrac{1}{2}P\tfrac{1}{5}\,(5 . 21 . 6) = \Sigma.$$

Auf die Fläche $-4P\frac{4}{3}$ (341) habe ich schon bei der Besprechung des Titanits vom Ofenhorn im Binnenthal hingewiesen. Dieselbe liegt in der bei jenen Krystallen so ausserordentlich entwickelten Zone:

Digitized by Google

$\breve{P}\infty$ ($\bar{1}01$), $\infty P$ ($\bar{1}10$), $-2\breve{P}2$ ($\bar{1}2\bar{1}$).

Die Fläche tritt nur schmal auf, verursacht aber zugleich eine Streifung auf den Flächen des Prismas $\infty P$ (110). Ihre Neigung gegen dasselbe wurde gemessen:

$341 : 110 = 12^0\ 1'$; berechnet $12^0\ 7'\ 43''$.

Ferner berechnet sich:

$341 : 34\bar{1} = 57^0\ 21'\ 32''$,
$341 : 001 = 75\ 28\ 34$.

Die Fläche liegt nun ausserdem noch in der Zone:

$-\breve{P}\infty$ (101), $4\breve{P}4$ ($\bar{1}41$), $-\frac{4}{3}\breve{P}4$ ($14\bar{3}$),

und es berechnen sich die Winkel:

$341 : 101 = 34^0\ 16'\ 24''$
$34\bar{1} : \bar{1}41 = 42\ 36\ 7$
$341 : \bar{1}4\bar{3} = 79\ 15\ 42$.

Die zweite Fläche $\frac{7}{2}\breve{P}\frac{7}{5}$ (5 . 21 . 6) liegt in der Zone:

$\breve{P}\infty$ (011), $2\breve{P}6$ ($\bar{1}63$), $\infty\breve{P}3$ ($\bar{1}30$).

Gemessen wurde:

$\bar{5}$ . 21 . 6 : $\bar{1}30 = 23^0\ 24'$; berechnet $23^0\ 27'\ 53''$.

Diese Hemipyramide tritt als Abstumpfung der Combinationskante von $2\breve{P}6$ ($\bar{1}63$) und $\infty\breve{P}3$ ($\bar{1}30$) auf, sie ist nur sehr klein, aber scharf und glänzend ausgebildet und lieferte daher gute Reflexe.

Es berechnet sich für diese Fläche:

$\bar{5}$ . 21 . 6 : $\bar{5}$ . $2\bar{1}$ . 6 $= 68^0\ 22'\ 30''$
$\bar{5}$ . 21 . 6 : 001 $= 71\ 10\ 41$.

Weitere Messungen an dem Krystall ergaben:

| | gemessen: | berechnet: | | gemessen: | berechnet: |
|---|---|---|---|---|---|
| 110 : 121 | $29^0\ 44'$ | $29^0\ 49'\ 30''$ | 010 : $\bar{1}63$ | $39^0\ 46'$ | $39^0\ 39'\ 30''$ |
| 110 : 011 | $74\ 10$ | $73\ 55\ 48$ | 010 : 110 | $66\ 52$ | $66\ 56\ 16$ |
| 110 : $\bar{1}23$ | $79\ 3$ | $79\ 7\ 12$ | 010 : $\bar{1}23$ | $68\ 13$ | $68\ 5\ 32$ |
| $\bar{1}01$ : $\bar{1}10$ | $40\ 43$ | $40\ 33\ 15$ | $\bar{1}30$ : $\bar{1}63$ | $40\ 12$ | $40\ 17$ |
| 110 : 112 | $47\ 48$ | $47\ 46$ | $\bar{1}30$ : 011 | $66\ 29$ | $67\ 3$ |
| 001 : 110 | $85\ 46$ | $85\ 45$ | $\bar{1}30$ : $\bar{1}12$ | $54\ 44$ | $54\ 36$ |
| 010 : 130 | $38\ 6$ | $38\ 3\ 30$ | | | |

Von derselben Stufe, von welcher der oben beschriebene Krystall herstammt, wurde ein zweiter ziemlich grosser Krystall abgelöst, ein Durchkreuzungszwilling; derselbe ist etwa 6 mm. lang und 3 mm. dick, die Farbe ist hellgrün, die Flä-

Digitized by Google

chen sind meist scharf und glänzend ausgebildet. Die Untersuchung desselben ergab folgende Combination (Fig. 18):

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0P | (001) = P, | $-2\breve{P}2$ | (121) = t, |
| $\breve{P}\infty$ | ($\bar{1}$01) = y, | $-6\breve{P}\frac{6}{5}$ | (561) = $t^6$, |
| $\frac{1}{2}\breve{P}\infty$ | ($\bar{1}$02) = x, | $-9\breve{P}\frac{9}{8}$ | (891) = $t^7$, |
| $\frac{1}{3}\breve{P}\infty$ | (013) = o, | $\frac{4}{5}\breve{P}4$ | ($\bar{1}$45) = $r_4$, |
| $\breve{P}\infty$ | (011) = r, | $-\frac{1}{2}$P | (112) = i, |
| $\frac{3}{5}\breve{P}2$ | ($\bar{1}$23) = n, | $-\frac{8}{9}$P | (889) = I. |

Es herrschen an diesem Krystall vor die Flächen $\frac{1}{2}\breve{P}\infty$ ($\bar{1}$02), $\frac{3}{5}\breve{P}2$ ($\bar{1}$23), $\infty$P (110), auch die Basis 0P (001) ist ziemlich gross entwickelt; alle übrigen Formen treten mehr oder weniger untergeordnet auf. Neue Flächen sind $-\frac{8}{9}$P (889) und $-9\breve{P}\frac{9}{8}$ (891). Die Fläche $-\frac{8}{9}$P (889) wurde bestimmt durch die Zone 0P (001), $\infty$P ($\bar{1}$10), $-\frac{1}{2}$P ($\bar{1}\bar{1}2$) und die Messungen:

889 : 110 = 32° 41′, berechnet 32° 25′ 26″
889 : 001 = 53 7 „ 53 19 34

Berechnet wurde:

889 : 8$\bar{8}$9 = 37° 43′ 52″.

Die Fläche tritt auf als Abstumpfung der Combinationskante von $-\frac{1}{2}$P (112) und $\infty$P (110), ist aber nur eine schmale schwach glänzende Linie.

Die andere Fläche $-9\breve{P}\frac{9}{8}$ (891) ist ein Glied der Zone:

$\breve{P}\infty$ ($\bar{1}$01), $\infty$P ($\bar{1}$10), $\breve{P}\infty$ (01$\bar{1}$).

Sie liegt zwischen $\infty$P (110) und $-2\breve{P}2$ (121) mit einer Neigung gegen $\infty$P von 4° 32′ (berechnet 4° 50′ 45″), und erscheint nur als schmaler glänzender Streifen.

Für dieselbe berechnet sich:

001 : 891 = 81° 40′ 31″ (gemessen 81° 16′)
891 : 8$\bar{9}$1 = 50 51 20.

Folgende Winkel wurden noch an dem Krystall gemessen:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 110 : 561 = | 7° 23′ 0″, | berechnet | 7° 36′ 50″ |
| 110 : 121 = | 29 44 30 | „ | 29 49 |
| 110 : 12$\bar{3}$ = | 78 54 | „ | 78 50 |
| 10$\bar{1}$ : 110 = | 40 39 | „ | 40 34 |
| 01$\bar{1}$ : 110 = | 72 53 | „ | 73 56 |
| 00$\bar{1}$ : 110 = | 85 48 | „ | 85 45 |
| 001 : 112 = | 38 6 | „ | 38 9 |
| 110 : 112 = | 47 42 | „ | 47 36 |
| 001 : 013 = | 12 2 | „ | 12 19 |
| 110 : $\bar{1}$45 = | 89 51 | „ | 89 49. |

Digitized by Google

Die beiden im Folgenden beschriebenen Krystalle stammen ebenfalls von einer grossen, mit prächtigen Titanitkrystallen besetzten Stufe von der Eisbruckalp, welche vorzüglich aus Adularkrystallen besteht, auf denen dann der Titanit aufgewachsen ist.

Der erstere der Krystalle ist etwa 6 mm. lang, 2 mm. dick, ein Zwilling nach dem gewöhnlichen Gesetz: Z . E = 0P (001) (Fig. 19 und 20, in der schiefen Projection als einfacher Krystall, in der geraden als Zwilling dargestellt).

Der Krystall weist die Combination folgender zehn Formen auf:

| | |
|---|---|
| 0P (001) = P, | $\frac{4}{3}$P2 ($\bar{1}23$) = n, |
| $\frac{1}{2}$P∞ ($\bar{1}02$) = x, | 4P4 ($\bar{1}41$) = s, |
| P∞ ($\bar{1}01$) = y, | −2P2 (121) = t, |
| ∞P (110) = l, | −5P$\frac{5}{4}$ (451) = $t^5$ ($\beta$), |
| ∞P3 (130) = M, | $\frac{6}{7}$P6 ($\bar{1}67$) = $\nu$. |

Die letzte Fläche $\frac{6}{7}$P6 ($\bar{1}67$) ist neu. Dieselbe liegt in der Zone:

P∞ ($\bar{1}01$) = y, $\frac{4}{3}$P2 ($\bar{1}23$) = n, P∞ (011) = r.

Sie wurde bestimmt durch die Messung der Neigung gegen das Prisma ∞P (110)

110 : $\bar{1}67$ = 85° 9′, berechnet 85° 22′.

Ferner wurde berechnet:

$\bar{1}67$ : 001 = 31° 8′ 42″,
$\bar{1}67$ : $\bar{1}\bar{6}7$ = 58 27 30.

An dem Krystall sind vorherrschend die Flächen der Basis 0P (001), des Prismas ∞P (110), der Hemipyramide $\frac{4}{3}$P2 ($\bar{1}23$) und des Domas $\frac{1}{2}$P∞ ($\bar{1}02$). Die übrigen Flächen sind nur klein und untergeordnet ausgebildet.

| Messungen ergaben: | berechnet: | Messungen ergaben: | berechnet: |
|---|---|---|---|
| 110 : 451 = 9° 17′ | 9° 23′ 45″ | 10$\bar{1}$ : 110 = 40° 36′ | 40° 34′ |
| 110 : 121 = 29 58 | 29 49 | 121 : 130 = 28 23 | 28 27 |
| 110 : 1$\bar{2}$3 = 78 51 | 78 50 | 121 : 14$\bar{1}$ = 48 44 | 48 50 |
| 110 : 1$\bar{1}$0 = 46 10 | 46 7 28 | 001 : $\bar{1}$23 = 34 44 | 35 4 |
| 130 : 110 = 28 54 | 28 52 46 | $\bar{1}$23 : $\bar{1}$01 = 37 58 | 38 16. |

Der letzte der zur Untersuchung vorliegenden Krystalle (Taf. XII Fig. 21) von der Eisbruckalp ist 4 mm. lang und 2$\frac{1}{2}$ mm. breit. Der Krystall zeichnet sich aus durch ausserordent-

Digitized by Google

lichen Flächenreichthum; es treten an ihm 17 verschiedene Einzelgestalten auf.

Die Combination ist folgende:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0P | (001) = P, | $\frac{1}{13}$P12 | ($\bar{1}$.12.13) = D, |
| $\frac{1}{2}$P∞ | ($\bar{1}$02) = x, | 2P6 | ($\bar{1}$63) = d, |
| P∞ | ($\bar{1}$01) = y, | P3 | ($\bar{1}$33) = B, |
| P∞ | (011) = r, | $\frac{1}{2}$P3 | (3$\bar{1}$6) = L, |
| $\frac{1}{3}$P∞ | (013) = o, | −2P2 | (121) = t, |
| ∞P | (110) = l, | $-\frac{6}{5}$P$\frac{6}{5}$ | (561) = $t^6$ |
| $\frac{3}{2}$P2 | ($\bar{1}$23) = n, | $-\frac{1}{6}$P7 | (176) = E, |
| $\frac{3}{5}$P4 | ($\bar{1}$45) = $\eta$, | $-\frac{8}{15}$P$\frac{8}{3}$ | (3.8.15) = G. |
| $\frac{4}{7}$P6 | ($\bar{1}$67) = $\nu$, | | |

Neu sind die vier Formen:

P3 ($\bar{1}$33) = B, $\frac{1}{2}$P3 (3$\bar{1}$6) = L, $-\frac{1}{6}$P7 (176) = E, $-\frac{8}{15}$P$\frac{8}{3}$ (3.8.15) = G.

Die Fläche P3 ($\bar{1}$33) = B liegt in der Zone:

$\frac{3}{2}$P2 ($\bar{1}$23), 2P6 ($\bar{1}$63), ∞P∞ (010).

Ihr Zeichen berechnet sich aus der Neigung gegen $\frac{3}{2}$P2 ($\bar{1}$23). welche zu 9° gemessen wurde (berechnet 8° 13′ 34″); wegen der rauhen und fast matten Beschaffenheit der Fläche musste ich mich bei der Messung mit dem blossen Lichtreflex bei aufgesetzter Lupe begnügen.

Die Fläche liegt noch in den beiden Zonen:

1. P∞ (011), P2 ($\bar{1}$22), $-$P$\frac{3}{2}$ (233).
2. 0P (001), $\frac{1}{2}$P3 ($\bar{1}$32), ∞P3 ($\bar{1}$30).

Es berechnen sich für diese Fläche folgende Winkel:

| | |
|---|---|
| $\bar{1}$33 : $\bar{1}$33 | = 60° 15′ 8″ |
| $\bar{1}$33 : 110 | = 23 1 53 |
| $\bar{1}$33 : $\bar{1}$30 | = 53 24 |
| $\bar{1}$33 : 001 | = 39 30 |
| $\bar{1}$33 : $\bar{1}$22 | = 12 5 40. |

Die Fläche $\frac{1}{2}$P3 (3$\bar{1}$6) = L ist gross und gut entwickelt: dieselbe liegt in den drei Zonen:

1. P∞ ($\bar{1}$01), $\frac{1}{3}$P∞ (013), $-\frac{1}{2}$P (112).
2. $\frac{1}{3}$P∞ ($\bar{1}$03), $\frac{3}{2}$P2 (213), ∞P ($\bar{1}$10), $-$P$\frac{3}{2}$ (233).
3. $\frac{1}{2}$P∞ ($\bar{1}$02), ∞P∞ (010).

Das Symbol wurde berechnet aus der Neigung. gegen ∞P (110). Gemessen wurde:

3$\bar{1}$6 : $\bar{1}$10 = 56° 29′; berechnet 56° 11′ 50″.

Die Fläche hat nur eine geringe Neigung gegen $\frac{1}{2}$P∞ und liegt ähnlich der Fläche $\frac{6}{13}$P3 (6 . 2 . 13).

| | |
|---|---|
| $\bar{1}$02 : 3$\bar{1}$6 | = 5° 10′ 30″ } berechnet. |
| $\bar{1}$02 : 6.2.13 | = 5 28 49 } |

Digitized by Google

Fernere Berechnungen lieferten:

$$\bar{3}16 : 001 = 39^\circ\,34'\;\;5''$$
$$\bar{3}16 : 3\bar{1}6 = 10\;\;21$$
$$\bar{3}16 : 010 = 84\;\;49\;\;30$$
$$\bar{3}16 : \bar{1}01 = 21\;\;36\;\;20$$
$$\bar{3}16 : \bar{1}03 = 29\;\;26\;\;40.$$

In der Zone $\frac{1}{3}P\infty$ $(\bar{1}03)$, $\frac{1}{3}P\infty$ $(013)$, in welcher die eben beschriebene Fläche liegt, befindet sich auch die Form

$$-\tfrac{8}{15}P\tfrac{8}{3}\ (3\,.\,8\,.\,15) = G.$$

Sie tritt auf als Abstumpfung der Combinationskante von $\frac{1}{3}P\infty$ $(013)$ und $\infty P$ $(110)$. Die Fläche ist ziemlich zur Messung geeignet; es fand sich:

$$3\,.\,8\,.\,15 : 110 = 63^\circ\,51'; \quad \text{berechnet } 63^\circ\,55'\,32'',$$

berechnet wurde noch:

$$3\,.\,8\,.\,15 : 3\,.\,\bar{8}\,.\,15 = 36^\circ\,16'\;\;0''$$
$$3\,.\,8\,.\,15 : 001 \;\;\;\; = 24\;\;26\;\;22.$$

Die Fläche $-\frac{7}{6}P7$ $(176) = E$ endlich liegt in der Zone:

$$\tfrac{4}{3}P2\ (\bar{1}23), \quad \infty P\ (110), \quad P\infty\ (10\bar{1}).$$

Sie tritt auf als schmale Abstumpfung der Combinationskante von $P\infty$ $(011)$ und $-2P2$ $(121)$.

Gemessen wurde:

$$176 : 110 = 62^\circ\,45' \text{ berechnet } 62^\circ\,13'\,20''.$$
$$176 : 176 = \;\;\;\; \text{„} \;\; 72\;\;2$$
$$176 : 001 = \;\;\;\; \text{„} \;\; 38\;\;19.$$

In Bezug auf die allgemeine Ausbildung des Krystalls ist noch hinzuzufügen, dass die Flächen $\frac{1}{3}P\infty$ $(\bar{1}02)$, $P\infty$ $(\bar{1}01)$, $0P$ $(001)$, $\infty P$ $(110)$, $\frac{4}{3}P2$ $(\bar{1}23)$ vorherrschen; ziemlich gross entwickelt sind ausserdem $2P6$ $(\bar{1}63)$, $\frac{1}{3}P\infty$ $(013)$ und $\frac{1}{2}P3$ $(316)$. Die übrigen Flächen treten nur untergeordnet auf, so die Flächen aus der Zone $\frac{4}{3}P2$ $(\bar{1}23)$, $\infty P$ $(110)$, welche Streifungen auf diesen Flächen verursachen.

Fernere Messungen ergaben:

| | gemessen: | berechnet: | | gemessen: | berechnet: |
|---|---|---|---|---|---|
| $\bar{1}23 : \bar{1}.12.13$ | $= 20^\circ\,24'$ | $21^\circ\;7'\;37''$ | $\bar{1}23 : \bar{1}45$ | $= 11^\circ\,48'$ | $10^\circ\,59'\;0''$ |
| $\bar{1}23 : 011$ | $= 27\;\;10$ | $27\;\;14\;\;3$ | $\bar{1}01 : \bar{1}67$ | $= 54\;\;26$ | $54\;\;4$ |
| $\bar{1}23 : 176$ | $= 38\;\;25$ | $38\;\;56\;\;30$ | $001 : 013$ | $= 12\;\;19$ | $12\;\;9$ |
| $\bar{1}23 : 121$ | $= 71\;\;23$ | $71\;\;21$ | $001 : 011$ | $= 33\;\;3$ | $33\;\;15$ |
| $\bar{1}23 : 561$ | $= 86\;\;54$ | $87\;\;8$ | $110 : 013$ | $= 80\;\;39$ | $81\;\;1\;\;2$ |
| $\bar{1}23 : 1\bar{1}0$ | $= 78\;\;50$ | $78\;\;50$ | $\bar{1}63 : \bar{1}23$ | $= 28\;\;28$ | $28\;\;8$ |
| $\bar{1}23 : \bar{1}01$ | $= 37\;\;50$ | $38\;\;16$ | $\bar{1}23 : \bar{1}23$ | $= 43\;\;44$ | $43\;\;48\;\;56.$ |

Digitized by Google

### 9. Titanit von Renfrew in Canada.

Die allgemeinen krystallographischen Verhältnisse dieses Titanits sind schon im ersten Theile der Arbeit kurz erwähnt worden. Es sind die dunkelbraun gefärbten stark glänzenden grossen Krystalle, welche vorliegen. Dieselben sind entweder äusserlich einfache Individuen, oder sie sind Zwillinge. In der Ausbildungsweise sind beide einigermassen verschieden. An den einfachen Krystallen herrscht vor das Orthodoma P∞ (101), nach welchem dieselben tafelförmig gestaltet sind, dazu treten auf:

$$\tfrac{1}{3}P2\ (\bar{1}23) = n,\quad P\infty\ (011) = r,\quad -2P2\ (121) = t.$$

An den Zwillingen ist besonders das Klinodoma P∞ (011) stark entwickelt, und giebt denselben einen säulenförmigen Habitus.

Die Eigenthümlichkeit dieser Krystalle ist eine Absonderungsfläche, welche in der Zone P∞ (101), P∞ (011), —2P2 (121) liegt und den Messungen zufolge der Fläche der Hemipyramide $\frac{1}{5}P4$ ($\bar{1}45$) entspricht. Bei anderen Titaniten ist eine solche Absonderung nie beobachtet worden, wohl aber hat Hessenberg[1] eine solche als am Greenovit auftretend beschrieben und den Werth der entsprechenden Fläche berechnet.

Er giebt der Pyramide, die ebenfalls in der genannten Zone liegt, das Symbol

$$\tfrac{9}{11}P\tfrac{9}{2}\ (\bar{2}\,.\,9\,.\,11) = \omega.$$

Nun aber ist der Winkel, den diese Fläche beim Greenovit mit —2P2 (121) bildet, nach Hessenberg's Messung = 121° 12′; bei dem Titanit von Renfrew ist dieser Winkel = 121° 30′ und die Neigung der Absonderungsfläche gegen P∞ (011) = 130° 27′. Leitet man aus diesem Winkel das Symbol ab, so ergiebt sich ziemlich genau $\frac{1}{5}P4$ ($\bar{1}45$) (der berechnete Winkel ist 130° 45′ = 011 : $\bar{1}45$). Gemessen wurde ferner die Neigung der Absonderungen zu einander zu 125° 30′, es berechnet sich aber $\bar{1}45 : \bar{1}\bar{4}5 = 125° 42'$. Es ist hiernach kein Zweifel, dass diese Absonderungsfläche der Pyramide $\frac{1}{5}P4$ ($\bar{1}45$) entspricht, aber anderseits scheint mir dieselbe auch

[1] Hessenberg: Mineral. Notizen. Abhandl. der Senck. naturforsch. Ges. cf. Seite 346.

Digitized by Google

identisch zu sein mit der am Greenovit beobachteten, und dies umsomehr, als die von Hessenberg angegebenen gemessenen Winkelwerthe nach seiner Angabe nur approximative sind.

Diese Absonderung beruht auf einer Zwillingsverwachsung. Zahlreiche Lamellen bilden einen Krystall und die Verwachsungsebene ist $\frac{1}{2}$P4 ($\bar{1}45$). Diese Fläche ist zugleich die Zwillingsebene. Eine genauere Beschreibung dieser Verwachsung hat G. H. Williams [1] gegeben. Doch bespricht er nur die dem Kalke von Pitcairn, St. Lawrence Co. eingelagerten Krystalle, welche diese scheinbare Spaltbarkeit am vollkommensten besitzen. Ich möchte daher seinen Beobachtungen noch Folgendes hinzufügen. Einer der grössten in Renfrew gefundenen Krystalle, welcher sich im mineralogischen Museum der Universität Bonn befindet, besteht aus 3—4 mm. dicken Lamellen, und zwischen je zwei derselben liegt eine sehr dünne Lamelle (etwa $\frac{1}{10}$ mm. dick) in Zwillingsstellung. Ein Dünnschliff senkrecht zu dieser Absonderung zeigte dies unter + Nicols sehr gut. Stellte man die breiten Lamellen auf dunkel ein, so blieben die dünnen hell und umgekehrt. Auch an kleineren Krystallen dieses Fundortes waren die einzelnen Lamellen keineswegs immer so dünn, wie dies von Williams an denen von Pitcairn beobachtet wurde. Wohl aber tritt die Absonderung sowohl nur nach der einen Pyramidenfläche als nach beiden zugleich auf.

[1] G. H. Williams, American. Journ. of science. XXIX. 483—490.



Digitized by Google

**Tabelle der am Titanit auftretenden Formen.**

(Die mit * bezeichneten sind neu.)

| No. | Zeichen nach Naumann | Zeichen nach Miller | Hessenberg | Rose | Autor |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0P | 001 = c | | P | |
| 2 | ∞P∞ | 010 = b | | q | |
| 3 | ∞P | 110 = l | | l | |
| 4 | ∞P3 | 130 = m | | M | |
| 5 | ∞P8 | 180 | $\varphi$ | | |
| 6 | P∞ | $\bar{1}01$ = y | | y | |
| 7 | $\frac{1}{2}$P∞ | $\bar{1}02$ = x | | | |
| 8 | $\frac{1}{3}$P∞ | $\bar{1}03$ | | | |
| 9 | $\frac{1}{6}$P∞ | $\bar{1}05$ | $\pi$ | | |
| 10 | $\frac{5}{9}$P∞ | $\bar{5}09$ | | | |
| 11 | $\frac{8}{15}$P∞ | $\bar{8}.0.15$ | | | |
| 12 | $1\frac{9}{12}$P∞ | $\bar{19}.0.12$ | | z | |
| 13 | —P∞ | 101 = v | | v | |
| 14 | —$\frac{5}{6}$P∞ | 509 } 705 | } Jeremejew Aufstellung nach Des Cl. | | |
| 15 | —2P∞ | 201 } 304 | | | |
| 16 | P∞ | 011 = r | | r | |
| 17 | $\frac{2}{7}$P∞* | 027 | | | O |
| 18 | $\frac{1}{3}$P∞ | 013 = o | | o | |
| 19 | 3P∞ | 031 | $\tau$ | | |
| 20 | $\frac{2}{7}$P | $\bar{2}27$ | $\delta$ | | |
| 21 | $\frac{3}{10}$P | $\bar{3}.3.10$ | $\varphi$ (Lewis) | | |
| 22 | $\frac{1}{3}$P | $\bar{1}13$ | | u | |
| 23 | $\frac{1}{2}$P | $\bar{1}12$ = z | | | |
| 24 | $\frac{2}{3}$P | $\bar{2}23$ | $\varkappa$ | | |
| 25 | $\frac{7}{9}$P | $\bar{7}79$ | $\iota$ | | |
| 26 | $\frac{4}{5}$P | $\bar{4}45$ | | | $\mu$ |
| 27 | P2 | $\bar{1}22$ | | | A |
| 28 | P3 | $\bar{1}33$ | | | B |
| 29 | 2P2 | $\bar{1}21$ | $\varepsilon$ | | |
| 30 | 4P4 | $\bar{1}41$ = s | | s | |
| 31 | $\frac{16}{3}$P$\frac{16}{3}$ | $\bar{3}.16.3$ | $\beta$ | | |
| 32 | 8P8 | $\bar{1}81$ | $\zeta$ | | |
| 33 | $\frac{4}{3}$P2 | $\bar{1}23$ = n | | n | |
| 34 | $\frac{4}{5}$P4 | $\bar{1}45$ | $\eta$ | | |
| 35 | $\frac{4}{7}$P6* | $\bar{1}67$ | | | $\nu$ |
| 36 | $\frac{2}{5}$P2* | $\bar{3}.6.10$ | | | $\psi$ |
| 37 | $\frac{3}{5}$P2 | $\bar{5}.10.6$ | $\psi$ | | |
| 38 | $\frac{3}{2}$P3 | $\bar{1}32$ | $\chi$ | | |
| 39 | 2P6 | $\bar{1}63$ = u | | d | |
| 40 | $\frac{10}{3}$P10 | $\bar{1}.10.3$ | $\varrho$ | | |

Digitized by Google

| No. | Zeichen nach Naumann | Miller | Hessenberg | Rose | Autor |
|---|---|---|---|---|---|
| 41 | $\frac{13}{13}P12^*$ | $\bar{1}.12.13$ | | | D |
| 42 | $\frac{7}{4}P\frac{7}{2}^*$ | $\bar{2}74$ | | | Z |
| 43 | $\frac{9}{11}P\frac{9}{2}$ | $\bar{2}.9.11$ | $\omega$ | | |
| 44 | $16P\frac{16}{5}^*$ | $\bar{5}.16.1$ | | | K |
| 45 | $\frac{7}{2}P\frac{21}{8}^*$ | $\bar{5}.21.6$ | | | $\Sigma$ |
| 46 | $\frac{1}{2}P2$ | $\bar{2}14 = w$ | | | |
| 47 | $\frac{3}{8}P2$ | $\bar{2}13$ | | k | |
| 48 | $\frac{1}{2}P3^*$ | $\bar{3}16$ | | | L |
| 49 | $\frac{6}{13}P3^*$ | $\bar{6}.2.13$ | | | L' |
| 50 | $\frac{5}{4}P\bar{5}^*$ | $\bar{5}14$ | | | y' |
| 51 | $\frac{10}{9}P10^*$ | $\bar{1}\bar{0}.1.9$ | | | y'' |
| 52 | $\frac{3}{8}P\frac{4}{3}$ | $\bar{4}36$ | $\vartheta$ | | |
| 53 | $\frac{5}{7}P\frac{5}{2}$ | $\bar{5}27$ | $\alpha$ | | |
| 54 | $\frac{5}{7}P\frac{7}{6}$ | $\bar{3}\bar{5}.30.49$ | $\lambda$ | | |
| 55 | $\frac{11}{44}P\frac{11}{8}$ | $\bar{1}1.8.24$ | | | $\Delta$ |
| 56 | $-\frac{1}{3}P$ | 112 | | i | |
| 57 | $-\frac{8}{9}P$ | 889 | | | $I$ |
| 58 | $-P\frac{3}{2}$ | 233 | f | | |
| 59 | $-2P2$ | $121 = t$ | | t | |
| 60 | $-\frac{3}{2}P3$ | 132 | $\xi$ | | |
| 61 | $-\frac{4}{3}P4$ | 143 | | w | |
| 62 | $-\frac{7}{6}P7^*$ | 176 | | | E |
| 63 | $-6P2^*$ | 361 | | | U |
| 64 | $-3P\frac{3}{2}$ | 231 ($\bar{3}34$ | Jeremejew) | | $t^1$ |
| 65 | $-\frac{7}{2}P\frac{7}{5}^*$ | 572 | | | $t^2$ |
| 66 | $-4P\frac{4}{3}^*$ | 341 | | | $t^3$ |
| 67 | $-\frac{9}{2}P\frac{9}{7}^*$ | 792 | | | $t^4$ |
| 68 | $-5P\frac{5}{4}$ | 451 | $\beta$ (vom Rath) | | $t^5$ |
| 69 | $-6P\frac{8}{5}^*$ | 561 | | | $t^6$ |
| 70 | $-9P\frac{9}{8}^*$ | 891 | | | $t^7$ |
| 71 | $-\frac{4}{3}P2$ | 123 | $\gamma$ | | |
| 72 | $-4P\frac{12}{5}^*$ | 5.12.3 | | | $l^3$ |
| 73 | $-5P\frac{5}{2}^*$ | 251 | | | $l^2$ |
| 74 | $-8P\frac{8}{3}^*$ | 381 | | | $l^1$ |
| 75 | $-\frac{8}{15}P\frac{8}{3}^*$ | 3.8.15 | | | G |



Digitized by Google

## Winkeltabelle.

(Normalenwinkel, nach Zonen geordnet.)

| | Zeichen der Flächen | | Berechnet | Gemessen Rose | Gemessen Hessenberg | Gemessen Autor |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zone 001, 027, 013, 011, 031, 010. | 001 | : 027 | 10° 38′ 34″ | | | 10° 57′ |
| | 001 | : 013 | 12 19 | 12° 20′ 0″ | 12° 0′ | 12 10 |
| | 001 | : 011 | 33 15 | 33 15 | 32 30 | 33 3 |
| | 001 | : 031 | 63 2 35 | | 63 10 | |
| | 011 | : 0$\bar{1}$1 | 66 29 | | | |
| | 027 | : 027 | 21 17 8 | | | |
| | 013 | : 0$\bar{1}$3 | 24 38 | | | |
| | 031 | : 03$\bar{1}$ | 53 54 50 | | | |
| Zone 001, $\bar{1}$05, $\bar{1}$03, $\bar{1}$02, $\bar{8}$.0.15, $\bar{5}$09, $\bar{1}$01, $\bar{1}\bar{9}$.0.12, 201, 101, 509. | 001 | : $\bar{1}$05 | 17 28 8 | | | |
| | 001 | : $\bar{1}$03 | 28 5 | 27 40 | | |
| | 001 | : $\bar{1}$02 | 39 19 | (Miller) | 39 26 | 39 15 |
| | 001 | : $\bar{8}$.0.15 | 41 55 | 41 47 (Des Cl.) | | |
| | 001 | : $\bar{5}$09 | 42 29 | 42 33 | | |
| | 001 | : $\bar{1}$01 | 60 17 | 59 30 | | 60 19 |
| | 001 | : $\bar{1}\bar{9}$.0.12 | 71 33 | | | |
| | 001 | : 201 | 67 53 28 | 67 56 52 | | |
| | 001 | : 101 | 53 46 | Jeremejew | 54 9 | |
| | 001 | : $\bar{5}$09 | 38 35 36 | 38 33 30 Jeremejew | | |
| Zone $\bar{1}$01, $\bar{1}$21, $\bar{1}$41, $\bar{3}$.16.3, $\bar{1}$81, 010. | $\bar{1}$01 | : $\bar{1}$21 | 36 16 15 | | 36 18 | 36 39 |
| | $\bar{1}$01 | : $\bar{1}$41 | 56 1 | 56 1 | | 56 4 |
| | $\bar{1}$01 | : $\bar{3}$.16.3 | 63 12 50 | | 62 54 | |
| | $\bar{1}$01 | : $\bar{1}$81 | 71 23 53 | | 71 23 | 71 25 |
| | $\bar{1}$21 | : 12$\bar{1}$ | 73 12 30 | | | 73 18 |
| | $\bar{1}$41 | : 14$\bar{1}$ | 67 58 | 67 50 | 67 58 | 67 56 |
| | $\bar{3}$.16.3 | : 3.16.$\bar{3}$ | 53 34 20 | | | |
| | $\bar{1}$81 | : 18$\bar{1}$ | 37 12 14 | | | 37 10 |
| | 001 | : $\bar{3}$.16.3 | 77 9 7 | | 77 1 | |
| | $\bar{1}$01 | : $\bar{5}$27 | 12 29 | | 12 30 | |
| | $\bar{1}$01 | : $\bar{2}$13 | 15 7 | | | |
| | $\bar{1}$01 | : $\bar{1}\bar{0}$.7.17 | 19 48 54 | | 19 40 | |
| | $\bar{1}$01 | : $\bar{1}$12 | 25 41 | | 24 35 | |
| | $\bar{1}$01 | : $\bar{1}$23 | 38 16 | 38 10 | 38 8 | 37 58 |
| | $\bar{1}$01 | : $\bar{1}$45 | 49 15 | | | 49 12 |
| | $\bar{1}$01 | : $\bar{2}$.9.11 | 50 46 3 | | | |
| | $\bar{1}$01 | : $\bar{1}$67 | 53 58 | | | 54 4 |
| | $\bar{1}$01 | : $\bar{1}$.12.13 | 59 23 56 | | | 59 19 |
| | $\bar{1}$01 | : 011 | 65 30 | 64 50 | 65 34 | |

Digitized by Google

| | Flächen | Berechnet | Gemessen Rose | Gemessen Hessenberg | Autor |
|---|---|---|---|---|---|
| Zone $\bar{1}01$, $\bar{5}27$, $\bar{2}13$, $\bar{1}0.7.17$, $\bar{1}12$, $\bar{1}23$, $\bar{1}45$, $\bar{2}.9.11$, $\bar{1}67$, $\bar{1}.12.13$, 011, 176, 143, 132, 121, 231, 572, 341, 792, 451, 561, 891, 110, $51\bar{4}$, 10.1.$\bar{9}$. | $\bar{1}01$ : 176 | 73° 12′ 30″ | | | 73° 45′ |
| | $\bar{1}01$ : 143 | 87 9 28 | 86° 59′ 0′ | 87° 9′ | 86 54 |
| | $10\bar{1}$ : 132 | 85 54 28 | | 85 6 | 86 20 |
| | $10\bar{1}$ : 121 | 70 23 20 | 70 30 | 70 20 | 70 39 |
| | $10\bar{1}$ : 231 | 58 6 27 | | | 57 33 |
| | $10\bar{1}$ : 572 | 55 0 44 | | | 54 44 |
| | $10\bar{1}$ : 341 | 52 41 33 | | | 52 44 |
| | $10\bar{1}$ : 792 | 51 11 10 | | | 51 16 |
| | $10\bar{1}$ : 451 | 49 57 45 | 49 53 (vom Rath) | | 50 5 |
| | $10\bar{1}$ : 561 | 48 10 50 | | | 49 |
| | $10\bar{1}$ : 891 | 45 24 35 | | | 45 25 |
| | $10\bar{1}$ : 110 | 40 33 50 | 40 36 | 40 34 | 40 43 |
| | $10\bar{1}$ : $51\bar{4}$ | 7 27 7 | | | 6 58 |
| | $10\bar{1}$ : 10.1.$\bar{9}$ | 3 36 24 | | | 3 26 |
| | $\bar{5}27$ : $\bar{5}27$ | 14 58 | | | |
| | $\bar{2}13$ : $\bar{2}13$ | 18 4 | | | |
| | $\bar{1}0.7.17$ : $\bar{1}0.7.17$ | 23 33 56 | | | |
| | $\bar{1}12$ : $\bar{1}12$ | 30 17 | | | |
| | $\bar{1}23$ : $\bar{1}23$ | 43 48 | 43 45–54 | 43 42 | 43 44 |
| | $\bar{1}45$ : $\bar{1}45$ | 54 18 | | | |
| | $\bar{2}.9.11$ : $\bar{2}.\bar{9}.11$ | 55 37 48 | | | |
| | $\bar{1}67$ : $\bar{1}67$ | 58 27 30 | | | |
| | $\bar{1}.12.13$ : $\bar{1}.\bar{1}2.13$ | 62 36 | | | |
| | 176 : 176 | 72 2 | | | |
| | 143 : $1\bar{4}3$ | 73 58 | | | 73 50 |
| | 132 : $1\bar{3}2$ | 73 45 58 | | | |
| | 121 : $1\bar{2}1$ | 69 9 4 | 69 | 69 17 | |
| | 231 : $2\bar{3}1$ | 61 29 40 | | | |
| | 572 : $5\bar{7}2$ | 59 7 40 | | | |
| | 341 : $3\bar{4}1$ | 57 21 32 | | | |
| | 792 : $7\bar{9}2$ | 56 0 8 | | | |
| | 451 : $4\bar{5}1$ | 54 56 32 | | | |
| | 561 : $5\bar{6}1$ | 53 13 | | | |
| | 891 : $8\bar{9}1$ | 50 51 20 | | | |
| | $51\bar{4}$ : $5\bar{1}4$ | 8 57 44 | | | |
| | 10.1.$\bar{9}$ : 10.$\bar{1}$.$\bar{9}$ | 4 0 22 | | | |
| | 001 : $\bar{5}27$ | 50 39 55 | | | |
| | 001 : $\bar{2}.9.11$ | 31 11 42 | | | |
| | 001 : $\bar{1}67$ | 31 8 14 | | | |
| | 001 : $\bar{1}.12.13$ | 31 57 20 | | | |
| | 001 : 176 | 38 19 | | | |

Digitized by Google

| | Flächen | Berechnet | Gemessen Rose | Hessenberg | Autor |
|---|---|---|---|---|---|
| | 001 : 231 | 71° 6′ 17″ | | | |
| | 001 : 572 | 73 40 3 | | | |
| | 001 : 341 | 75 28 34 | | | |
| | 001 : 792 | 76 49 37 | | | |
| | 001 : 451 | 77 51 54 | | | |
| | 001 : 561 | 79 21 24 | | | |
| | 001 : 891 | 81 40 31 | | | |
| | 00$\bar{1}$ : 51$\bar{4}$ | 66 19 10 | | | |
| | 00$\bar{1}$ : 10.1.$\bar{5}$ | 63 11 55 | | | |
| Zone $\bar{1}$01, $\bar{3}$16, 013, 012. | $\bar{1}$01 : $\bar{3}$16 | 21 36 20 | | | |
| | $\bar{1}$01 : 013 | 51 2 | | | |
| | 10$\bar{1}$ : 112 | 84 3 | 83° 50′ (Miller) | | |
| | $\bar{3}$16 : $\bar{3}$16 | 10 11 | | | |
| | 112 : 1$\bar{1}$2 | 27 59 52 | | | |
| | 001 : $\bar{3}$16 | 39 34 5 | | | |
| Zone $\bar{1}$01, $\bar{2}$14, $\bar{1}$13, 123. | $\bar{1}$01 : $\bar{2}$14 | 27 18 | | | |
| | $\bar{1}$01 : $\bar{1}$13 | 38 57 | | | |
| | $\bar{1}$01 : 123 | 86 40 | | | |
| Zone $\bar{1}$01, $\bar{1}$32, $\bar{1}$63, 031, 130. | $\bar{1}$01 : $\bar{1}$32 | 43 32 | | | |
| | $\bar{1}$01 : $\bar{1}$63 | 57 19 | 57 12 (Miller) | | |
| | $\bar{1}$01 : 031 | 77 0 55 | | | |
| | $\bar{1}$01 : $\bar{1}$30 | 59 30 | | | 59° 30′ |
| Zone 001, $\bar{2}$14, $\bar{2}$13. | 001 : $\bar{2}$14 | 34 55 | | | |
| | 001 : $\bar{2}$13 | 48 45 | | | |
| Zone 001, $\bar{2}$27, $\bar{3}$.3.10, $\bar{1}$13, $\bar{1}$12, $\bar{2}$23, 779, $\bar{4}$45, $\bar{1}$10, $\bar{8}$89, $\bar{1}$12. | 001 : $\bar{2}$27 | 26 18 10 | | | |
| | 001 : $\bar{3}$.3.10 | 27 28 47 | | | |
| | 001 : $\bar{1}$13 | 30 7 | | | |
| | 001 : $\bar{1}$12 | 41 39 11 | | 39° 53′ | |
| | 001 : $\bar{2}$23 | 50 29 33 | | 50 30 | |
| | 001 : 779 | 55 9 26 | | 55 46 | |
| | 001 : $\bar{4}$45 | 56 0 1 | | | |
| | 001 : 110 | 85 45 | 85 44 | | 85 46 |
| | 001 : 889 | 53 19 34 | (Miller) | | 53 7 |
| | 001 : 112 | 38 9 | 38 15 | 37 59 | 37 58 |
| | $\bar{2}$27 : $\bar{2}$27 | 20 3 | | | |
| | $\bar{3}$.3.10 : $\bar{3}$.3.10 | 20 55 38 | | | |
| | 779 : 779 | 37 36 54 | | | |
| | $\bar{4}$45 : $\bar{4}$45 | 38 5 16 | | | |
| | 889 : $\bar{8}$89 | 36 48 14 | | | |

Digitized by Google

| | Flächen | Berechnet | Gemessen Rose | Gemessen Hessenberg | Autor |
|---|---|---|---|---|---|
| Zone 001, $\bar{6}.2.13$, $\bar{3}16$. | 001 : $\bar{6}.2.13$ | 39° 34′ 5″ | | | |
| | 001 : $\bar{3}16$ | 43 21 47 | | | |
| | $\bar{6}.2.13$ : $\bar{6}.\bar{2}.13$ | 13 2 54 | | | |
| Zone 001, $\bar{3}.6.10$, $\bar{1}23$, $\bar{1}22$, $\bar{5}.10.6$, $\bar{1}21$, $\bar{3}6\bar{1}$, $\bar{1}2\bar{1}$, $\bar{1}2\bar{3}$. | 001 : $\bar{3}.6.10$ | 34 14 48 | | | |
| | 001 : $\bar{1}23$ | 35 4 | 34° 52′ | 35° 6′ | 34° 50′ |
| | 001 : $\bar{1}22$ | 47 7 15 | | | |
| | 001 : $\bar{5}.10.6$ | 61 56 20 | | | |
| | 001 : $\bar{1}21$ | 76 33 15 | | | |
| | 001 : 361 | 77 14 3 | | | 77 52 |
| | 001 : 121 | 60 47 | 60 50 | 60 45 | |
| | 001 : 123 | 32 51 | | 33 | |
| | $\bar{3}.6.10$ : $\bar{3}.\bar{6}.10$ | 40 36 44 | | | |
| | $\bar{5}.10.6$ : $\bar{5}.\bar{1}0.6$ | 69 56 42 | | | |
| | 361 : 361 | 78 41 28 | | | |
| Zone 001, $\bar{1}33$, $\bar{1}32$, $\bar{1}30$, $\bar{1}3\bar{2}$. | 001 : $\bar{1}33$ | 39 30 | | | |
| | 001 : $\bar{1}32$ | 53 3 13 | | | |
| | 001 : $\bar{1}30$ | 87 6 | 86 59 | | |
| | 001 : 132 | 49 34 47 | | | |
| | 132 : $1\bar{3}2$ | 73 45 58 | | | |
| Zone 001, $\bar{1}45$, $\bar{1}41$, $\bar{1}4\bar{3}$. | 001 : $\bar{1}45$ | 31 55 | | 32 9 | 31 56 |
| | 001 : $\bar{1}41$ | 73 55 | 73 57 | | 73 46 |
| | 001 : $\bar{1}43$ | 44 12 | 44 | 44 | |
| Zone 001, $\bar{1}67$, $\bar{1}63$. | 001 : $\bar{1}67$ | 31 8 14 | | | |
| | 001 : $\bar{1}63$ | 61 55 | | | |
| Zone 001, $\bar{1}81$, $\bar{1}80$. | 001 : $\bar{1}81$ | 81 38 47 | | | |
| | 001 : $\bar{1}80$ | 88 42 3 | | | |
| Zone $\bar{1}03$, $\bar{1}13$, $\bar{1}23$, $\bar{1}33$, $\bar{1}63$, $\bar{1}.10.3$, 010. | $\bar{1}03$ : $\bar{1}13$ | 11 22 | | | |
| | $\bar{1}03$ : $\bar{1}23$ | 21 54 | | | |
| | $\bar{1}03$ : $\bar{1}33$ | 30 7 43 | | | |
| | $\bar{1}03$ : $\bar{1}63$ | 50 20 30 | | | |
| | $\bar{1}03$ : $\bar{1}.10.3$ | 63 33 28 | | | 63 27 |
| | $\bar{1}13$ : $\bar{1}\bar{1}3$ | 22 44 | | | |
| | $\bar{1}33$ : $\bar{1}\bar{3}3$ | 60 15 8 | | | |
| | $\bar{1}63$ : $\bar{1}\bar{6}3$ | 79 19 | 79 24 (Miller) | 79 7 | |
| | $\bar{1}.10.3$ : $\bar{1}.\bar{1}0.3$ | 52 53 4 | | 53 | 52 59 |
| | $\bar{1}.10.3$ : 001 | 77 13 27 | | | |

Digitized by Google

| | Flächen | Berechnet | Gemessen Rose | Gemessen Hessenberg | Autor |
|---|---|---|---|---|---|
| Zone $\bar{1}02, \bar{3}16, \bar{2}14, \bar{1}12, \bar{1}22, \bar{1}32, \bar{2}74, 010.$ | $\bar{1}02 : \bar{3}16$ | 5° 10′ 30″ | | | |
| | $\bar{1}02 : \bar{2}14$ | 7 42 | | | |
| | $\bar{1}02 : \bar{1}12$ | 15 8 30 | | | |
| | $\bar{1}02 : \bar{1}22$ | 28 27 40 | | | |
| | $\bar{1}02 : \bar{1}32$ | 39 3 15 | | | |
| | $\bar{1}02 : \bar{2}74$ | 43 31 30 | | | 43° 26′ |
| | $\bar{2}14 : 2\bar{1}4$ | 15 24 | | | |
| | $\bar{1}22 : 1\bar{2}2$ | 56 55 20 | | | |
| | $\bar{1}32 : 1\bar{3}2$ | 78 6 30 | | | |
| | $\bar{2}74 : 2\bar{7}4$ | 87 3 | | | |
| | $\bar{2}74 : 001$ | 55 53 15 | | | |
| Zone $101, 121, 010.$ | $101 : 121$ | 34 34 32 | | 34° 32′ | |
| | $121 : 010$ | 55 25 28 | | | |
| Zone $110, 130, 180, 010.$ | $110 : 130$ | 28 52 46 | | | 28 46 |
| | $110 : 180$ | 50 34 32 | | | |
| | $110 : 010$ | 66 56 16 | | | 66 52 |
| | $110 : \bar{1}10$ | 46 7 28 | 46° 15′ | 46 46 | 46 46 |
| | $130 : \bar{1}30$ | 76 7 | 76 2 | 76 6 | 76 12 |
| | $180 : \bar{1}80$ | 32 43 28 | | | |
| Zone $010, 143, 123.$ | $010 : 123$ | 69 21 | | | |
| | $010 : 143$ | 53 1 | | | 53 5 |
| | $123 : 1\bar{2}3$ | 41 18 | | | |
| | $143 : 1\bar{4}3$ | 73 58 | | | 73 50 |
| Zone $101, 110, 12\bar{1}, 13\bar{2}, 01\bar{1}, \bar{1}2\bar{3}, \bar{1}1\bar{2}.$ | $101 : 110$ | 38 24 29 | | 38 30 | |
| | $101 : 12\bar{1}$ | 62 42 44 | | | |
| | $101 : 132$ | 87 58 4 | | | |
| | $101 : 011$ | 81 13 | | | |
| | $101 : 123$ | 34 0 50 | | | |
| | $101 : 112$ | 22 39 2 | | | |
| Zone $\bar{1}02, \bar{2}27, 121, 527.$ | $\bar{1}02 : \bar{2}27$ | 17 50 | | | |
| | $\bar{1}02 : \bar{1}2\bar{1}$ | 87 29 | | | 86 42 |
| | $\bar{1}02 : \bar{5}27$ | 13 16 2 | | | |
| Zone $\bar{1}02, \bar{1}13, 011, 251, 2\bar{1}3.$ | $\bar{1}02 : \bar{1}13$ | 15 55 54 | | | |
| | $\bar{1}02 : 011$ | 49 39 40 | | | |
| | $\bar{1}02 : \bar{2}5\bar{1}$ | 75 51 5 | | | |
| | $\bar{1}02 : \bar{2}13$ | 12 37 13 | | | |
| | $251 : 2\bar{5}1$ | 84 24 10 | | | |
| | $251 : 001$ | 76 49 27 | | | |

Digitized by Google

THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

| | Flächen | Berechnet | Gemessen Rose | Hessenberg | Autor |
|---|---|---|---|---|---|
| Zone $\bar{1}02$, $\bar{1}45$, $44\bar{5}$. | $\bar{1}02 : \bar{4}45$ | 23° 44′ 15″ | | | |
| | $\bar{1}02 : \bar{1}45$ | 34 19 53 | | | |
| Zone $\bar{1}02$, $\bar{3}.6.10$, $130$, $43\bar{6}$. | $\bar{1}02 : \bar{3}.6.10$ | 24 19 17 | | | |
| | $\bar{1}02 : \bar{1}30$ | 69 33 20 | | | |
| | $\bar{1}02 : \bar{4}36$ | 16 16 50 | | | |
| | $\bar{4}36 : \bar{4}36$ | 26 49 52 | | 26° 9′ | |
| | $\bar{4}30 : 001$ | 49 30 23 | | 50 3 | |
| Zone $\bar{1}02$, $\bar{6}.2.13$, $\bar{1}23$, $12\bar{1}$, $22\bar{3}$. | $\bar{1}02 : \bar{6}.2.13$ | 5 28 49 | | | 5° 16′ |
| | $\bar{1}02 : \bar{1}23$ | 29 6 9 | | | 29 36 |
| | $\bar{1}02 : \bar{1}21$ | 49 37 46 | | | |
| | $\bar{1}02 : \bar{2}23$ | 19 41 36 | | | |
| | $\bar{2}23 : \bar{2}23$ | 35 7 4 | | | |
| Zone $\bar{1}02$, $\bar{1}\bar{1}.8.24$, $180$, $14\bar{1}$. | $\bar{1}02 : \bar{1}\bar{1}.8.24$ | 10 50 57 | | | 10 57 |
| | $\bar{1}02 : \bar{1}80$ | 80 48 5 | | | |
| | $\bar{1}02 : \bar{1}41$ | 58 35 7 | | | 58 33 |
| | $\bar{1}\bar{1}.8.24 : \bar{1}\bar{1}.\bar{8}.24$ | 28 41 | | | |
| | $\bar{1}\bar{1}.8.24 : 001$ | 54 33 | | | |
| Zone $010$, $\bar{2}23$, $\bar{4}36$, $\bar{2}13$. | $010 : \bar{2}23$ | 72 21 28 | | | |
| | $010 : \bar{4}36$ | 76 35 4 | | | |
| | $010 : \bar{2}13$ | 80 58 | | | |
| Zone $110$, $14\bar{1}$, $1.10.\bar{3}$, $03\bar{1}$, $\bar{1}2\bar{1}$. | $110 : 14\bar{1}$ | 41 27 43 | | 40 50 | |
| | $110 : 1.10.\bar{3}$ | 59 4 55 | | 59 30 | |
| | $110 : 03\bar{1}$ | 71 33 45 | | | |
| | $110 : 1\bar{2}1$ | 64 59 55 | | | |
| Zone $110$, $361$, $251$, $031$, $\bar{1}21$. | $110 : 361$ | 20 51 3 | | | |
| | $110 : 251$ | 25 6 9 | | | |
| | $110 : 031$ | 67 27 10 | | | |
| | $110 : 1\bar{2}\bar{1}$ | 65 41 7 | | | |
| Zone $011$, $\bar{1}63$, $\bar{5}.21.6$, $\bar{1}41$, $\bar{5}.16.1$, $\bar{1}30$, $\bar{3}8\bar{1}$, $25\bar{1}$, $\bar{5}.12.\bar{3}$, $\bar{1}2\bar{1}$, $23\bar{3}$, $11\bar{2}$. | $011 : \bar{1}63$ | 26 45 | 28° 44′ | 27 15 | 26 28 |
| | $011 : \bar{5}.21.6$ | 43 35 7 | | | 43 5 |
| | $011 : \bar{1}41$ | 46 40 | | | 46 37 |
| | $011 : \bar{5}.16.1$ | 62 4 51 | | | 62 24 |
| | $011 : \bar{1}30$ | 67 3 | | | 67 5 |
| | $011 : \bar{3}8\bar{1}$ | 75 59 31 | | | 76 4 |
| | $011 : \bar{2}5\bar{1}$ | 80 45 51 | | | 80 59 |
| | $011 : \bar{5}.12.\bar{3}$ | 83 42 | | | 83 21 |
| | $011 : 1\bar{2}1$ | 84 30 | | | |
| | $011 : 23\bar{3}$ | 70 17 48 | | | |
| | $011 : 1\bar{1}2$ | 58 21 | | | |

Digitized by Google

| | Flächen | Berechnet | Gemessen Rose | Gemessen Hessenberg | Autor |
|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{5}.21.6 : \bar{5}.2\bar{1}.6$ | 68°22′30″ | | | |
| | $\bar{5}.21.6 : 001$ | 71 10 41 | | | |
| | $\bar{5}.16.1 : \bar{5}.\bar{1}6.1$ | 72 19 54 | | | |
| | $\bar{5}.16.1 : 00\bar{1}$ | 88 11 47 | | | |
| | $38\bar{1} : 381$ | 84 53 56 | | | |
| | $\bar{5}.12.\bar{3} : 5.12.3$ | 85 42 54 | | | |
| | $\bar{5}.12.\bar{3} : 00\bar{1}$ | 71 38 39 | | | |
| Zone | $00\bar{1} : 38\bar{1}$ | 78 47 4 | | | 78°32′ |
| 001, $38\bar{1}$, $\bar{3}.8.\bar{1}5$. | $00\bar{1} : \bar{3}.8.\bar{1}5$ | 24 26 22 | | | |
| | $3.8.15 : 3.\bar{8}.15$ | 36 16 | | | |
| Zone | $001 : 233$ | 48 17 27 | | | |
| 001, 233, 231. | $001 : 231$ | 71 6 17 | | | |
| | $233 : 2\bar{3}3$ | 47 29 58 | | | |
| Zone | $011 : \bar{1}.10.3$ | 45 7 10 | | | |
| 011, $\bar{1}.10.3$, $\bar{1}81$, $1\bar{4}3$. | $011 : \bar{1}81$ | 50 2 33 | | | |
| | $011 : 1\bar{4}3$ | 74 22 10 | | | |
| Zone | $011 : 14\bar{1}$ | 77 7 17 | | 77°30′ | |
| 011, $14\bar{1}$, $13\bar{2}$, $12\bar{3}$. | $011 : 1\bar{3}2$ | 80 58 20 | | | |
| | $011 : 1\bar{2}3$ | 61 18 32 | | 61 12 | |
| | $101 : 231$ | 33 32 5 | | | |
| | $101 : 361$ | 43 16 | | | |
| Zone | $101 : 130$ | 58 39 | | | |
| 101, 231, 361, 130, | $101 : 031$ | 74 27 23 | | | |
| $03\bar{1}$, $\bar{1}32$, $2\bar{3}3$. | $101 : 132$ | 40 29 30 | | | |
| | $101 : 233$ | 25 50 55 | | | |
| | $011 : \bar{1}33$ | 23 1 53 | | | |
| Zone | $011 : \bar{1}22$ | 35 7 33 | | | |
| 011, $\bar{1}33$, $\bar{1}22$, $23\bar{3}$. | $011 : 233$ | 38 58 | | | |
| | $\bar{1}03 : \bar{3}16$ | 12 19 32 | | | |
| | $\bar{1}03 : \bar{2}13$ | 21 54 15 | | | |
| Zone | $\bar{1}03 : \bar{1}10$ | 68 31 11 | | | |
| $\bar{1}03$, $\bar{3}16$, $\bar{2}13$, $\bar{1}10$, | $103 : \bar{2}3\bar{3}$ | 73 3 53 | | | |
| $23\bar{3}$, $1\bar{2}3$, $\bar{3}.8.\bar{1}5$, $01\bar{3}$. | $103 : \bar{1}2\bar{3}$ | 56 47 33 | | | |
| | $103 : \bar{3}.8.\bar{1}5$ | 47 33 16 | | | |
| | $103 : 01\bar{3}$ | 30 27 47 | | | |
| Zone | $010 : \bar{5}27$ | 82 31 | | | |
| 010, $\bar{3}5.30.49$, $\bar{5}27$. | $010 : \bar{3}5.30.49$ | 74 16 37 | | | |
| | $\bar{3}5.30.49 : \bar{3}5.\bar{3}0.49$ | 31 26 46 | | | |
| | $001 : \bar{3}5.30.49$ | 52 1 5 | | | |

Digitized by Google

## Litteratur-Verzeichniss.


Rose, G., Über das Krystallisationssystem des Titanits. (Leonhard, mineral. Taschenb. 1822.)

Fuchs, J. N., Analyse des Sphens. (Ann. d. Chem. u. Pharm. 43. 319. 1842.)

Scheerer, Th., Über den Yttrotitanit. (Pogg. Ann. 63. 459. 1844.)

Wiser, D. F., Beiträge zur topogr. Mineralogie des Schweizerlandes. (Dies. Jahrb. 1844, 1847, 1848, 1854.)

Sandberger, F., Mineralien des Laacher Sees. (Dies. Jahrb. 1845.)

Weiss, Über das Titanitsystem. (Ber. d. kgl. preuss. Acad. d. Wiss. 1845. 89.)

Rose, H., Zerlegung des Titanit. (Pogg. Ann. LXII. 1847.)

Zepharovich, V. von, Über einige interessante Mineralvorkommen von Mutenitz und Strakonitz in Böhmen. (Jahrb. der geol. Reichsanst. Wien. 1853.)

Hessenberg, F., Mineralogische Notizen. (Abhandl. der Senckenberg. naturforsch. Ges. zu Frankfurt a. M. 1853—1873.)

Forbes, D. und Dahle, F., Analyse des Yttrotitanit. (Nyt Magaz. för Naturvidensk. IX. 14. 1857.)

Rammelsberg, Yttrotitanit. (Pogg. Ann. CVI. 296. 1859.)

vom Rath, G., Über Titanit vom Laacher See. (Pogg. Ann. CXIII. 466. 1861.)

Groth, P., Über den Titanit im Syenit des Plauen'schen Grundes. (Dies. Jahrb. 1866. 44.)

Des Cloizeaux, Nouvelles recherches. 1867.

Schrauf, A., Sphenzwillinge vom Obersulzbachthal. (Sitzb. d. kais. Acad. d. Wiss. Wien. LXII. 1871.)

Uzielli, G., Über den Titanit und Apatit von Lama dello Spedalaccio. (Memoire R. Accad. d. Lincei. V. I. S. 3a. Rom 1876.)

Strüver, J., Titanit von Latium. (Groth, Zeitschr. f. Kryst. I. 250. 1877.)

Hintze, C., Über den Greenovit von Zermatt. (Groth, Zeitschr. f. Kryst. II. 310. 1878.)

Lewis, W. J., Über Titanit. (Groth, Zeitschr. f. Kryst. II. 66. 1878.)

Limur, Graf von, Explorations minéralogiques dans les Hautes-Pyrenées ou indic. topog. de subst. peu connu. Vannes 1878.

Wiik, F. J., Mittheilungen über finnische Mineralien. (Groth, Zeitschr. f. Kryst. II. 496. 1878.)

Jeremejew, P. W., Titanit des Nasjamschen und Ilmengebirges. (Verhandl. d. kais. russ. mineral. Ges. [2]. XVI. 254. 1881.)

vom Rath, G., Mineralien von Zöptau. (Groth, Zeitschr. f. Kryst. V. 255. 1881.)

— Quarz und Feldspath von Dissentis. (Ibid. V. 494. 1881.)

Arzruni, A., Krystallographische Untersuchung an sublimirtem Titanit und Amphibol. (Sitzungsber. der preuss. Acad. d. Wiss. März 1882.)

Hankel, W. G., Über die thermoelektrischen Eigenschaften des Titanits etc. (Abhandl. d. math.-phys. Cl. d. kgl. sächs. Ges. d. Wiss. 12. 551—595. 1882.)


Digitized by Google

Heddle, F., Sphen von Shinness. (The geognosy and mineral. of Scotland cont. 5. 71—106. 1882.)

Jeremejew, Titanit von der Praskówje-Jewgeniewskaja-Mineralgrube, Schischimer Berg, Ural. (Verh. d. k. russ. min. Ges. XVII. 374 u. 382. 1882.)

Zepharovich, V. von, Titanit aus den Zillerthaler Alpen. (Naturw. Jahrb. „Lotos". Prag 1882.)

Lasaulx, A. von, Titanit von der Insel Croix. (Sitzb. d. niederrhein. Ges. 1883.)

Williams, G. H., Cause of the apparently perfect cleavage in american sphene. (Americ. Journ. of science. Vol. XXIX. 1885.)

Digitized by Google

# Ueber den Monte Amiata in Toscana und seine Gesteine.

Von

**J. Francis Williams** aus Salem, New York.

Mit Taf. XIII—XVI.

## I. Beschreibung der zur petrographischen und geologischen Orientirung im Amiatagebirge unternommenen Touren.

Wenn man das schöne Landschaftsbild betrachtet, welches sich, von der Porta San Marco in Siena aus gesehen, darbietet, so wird das Auge besonders gefesselt durch den im Süden aufsteigenden Monte Amiata — den Mons Tunii, Tuniatus oder ad Meata der Römer.

Den Monte Amiata, oder, wie er auch genannt wird, Monte di Santa Fiora, erreicht man von Siena aus, wenn man mit der Eisenbahn auf der Seitenlinie von Asciano nach Grosseto bis zur Station Monte Amiata fährt, und sich von da nach Castel del Piano begibt. Dieser Ort liegt am Fuss unseres Berges. Zieht man eine ausschliessliche Wagenfahrt vor, so folgt man von Siena aus der alten, nach Rom führenden Poststrasse bis Radicofani, einer kleinen, an einen alten Basaltvulkan angeklebten Stadt. Alsdann bringt uns eine Chaussée nach Abbadia San Salvatore, einer Stadt, auf der Castel del Piano entgegengesetzten Seite des Monte Amiata. Die Entfernung beträgt auf letztgenanntem Wege, von Siena bis zu unserem Berg, ungefähr 70 km.

Ich verliess Siena am 18. September 1885 in der Absicht, eine petrographische Erforschung des Monte Amiata

Digitized by Google

vorzunehmen und eine möglichst vollständige Sammlung seiner Gesteinsarten zu erlangen.

Herr Prof. C. Klein in Göttingen hatte während einer längeren italienischen Reise im Frühling 1885 Herrn Prof. Campani in Siena besucht, und von ihm einige Handstücke des Monte Amiatagesteins erhalten. Nach seiner Rückkehr nach Deutschland untersuchte er dieselben mikroskopisch, und fand, dass viele eigenthümliche Verhältnisse des vorliegenden Gesteins eine ausgedehntere Untersuchung als sie bislang ausgeführt worden war höchst wünschenswerth machten. Herr Prof. Klein vertraute mir diese Untersuchung an, deren Resultat ich in dieser Arbeit niedergelegt habe.

Ausser einem Schweizer Führer engagirte ich in Castel del Piano aus dem Hotel Amiatino, wo ich logirte, einen italienischen, Salvatore Rotellini, welcher mit allen Örtlichkeiten und Pfaden auf der Westseite des Berges gut bekannt war. Er erwies sich als williger Arbeiter und guter Kletterer und war mir bei meiner Arbeit sehr behülflich.

Mein allgemeiner Operationsplan war, nach dem Frühstück[1], so bald es hell geworden, mit meinem Italiener den Berg hinauf zu steigen und den Schweizer auszusenden, um für die Nacht eine Stätte zu bereiten, denn die Wirthshäuser waren häufig so schmutzig, dass die Zimmer erst gründlich gereinigt werden mussten, ehe man sie benutzen konnte.

Castel del Piano ist, gleich den meisten Orten am Fusse des Monte Amiata, auf dem Gestein des Berges gelegen und überragt das Thal, welches 50—100 m. darunter sich hinzieht. Es hat das Aussehen als sei es auf dem Ende eines Lavastromes erbaut, welcher an einigen Stellen einen senkrechten Abfall, von 10—30 m. besitzt. In diesem Thale unterhalb Castel del Piano kommt der gelbe Ocker vor (Terra gialla di Siena), welcher in grossen, offenen, häufig 10 m. tiefen Gruben gewonnen wird. Indem ich diesen Gruben entlang in westlicher Richtung weiter ging, kam ich zum Fiume Ente, einem Bach, welcher theils mit dem vom Berge herabgerollten Gestein, theils mit den Sand- und Kalksteinen der unterliegenden Schichten angefüllt ist.

[1] Dasselbe besteht hier aus in Olivenöl gebackenen Eiern und Kaffee ohne Milch.

Digitized by Google

Indem man von da sich südwestlich wendet und den Berg hinauf klimmt, erreicht man Montelaterone, wo sich ein schöner Blick (Taf. XIII) auf Monte Amiata mit seinen verschiedenen Spitzen Poggio Pinzi, Montagnola u. s. w. darbietet.

Die Wanderung von Castel del Piano auf die Spitze des Berges wurde auf folgende Weise ausgeführt. Ich benutzte einige Minuten lang die Strasse nach Statione Monte Amiata und schlug dann rechts einen Pfad ein, der mich bald nach dem Thale Fosso Vella brachte. Ich ging dieses durch einen schönen Kastanienwald hinauf; der Weg lief an dem Rande des vulkanischen Gesteins entlang, bis er ein Haus erreichte, welches Piombado genannt wurde. Indem ich hier über den Bach ging, sah ich zum ersten Male, was ich nachher nicht selten bemerkte, nämlich einen grossen, 4 oder 5 m. hohen, abgerundeten Steinblock, dem Granit in seinem Aussehen gleichend, welcher gespalten war und am Rande des Durchbruches ein vollständiges Netzwerk von zum Theil ein Meter oder mehr im Durchmesser haltenden Löchern aufwies.

Der Weg führte weiter durch die Kastanien einen etwas steileren Hügel hinauf, bis er zu dem Pian Macinaje und der Casa del Guardiano kommt; von da zieht er sich über eine ganz ebene Fläche und geht durch schöne Buchenwälder, welche, beiläufig gesagt, durch die auf dem Berge stark betriebene Holzkohlen-Industrie schnell vernichtet werden, hin. Endlich führt eine sehr steile Steigung zu der Spitze des Berges selbst hinan.

Der La Crocina genannte Gipfel ist mit einer grossen Menge gewaltiger Steinblöcke, rothen und weissen Trachyts[1] bedeckt, die in grösster Verwirrung auf einander gethürmt sind. Es ist fast unmöglich, über sie hinweg zu gelangen. Dieses gilt jedoch nur von dem südlichen Theile des Gipfels, welcher sich zu einem langen Rücken verlängert. Die Blöcke erstrecken sich bis zu dem Triangulationszeichen auf der Höhe. Von diesem bis zum nördlichen Ende des Rückens zieht sich ein schmales, sanft geneigtes Plateau, das mit Gras bedeckt

[1] Der Einfachheit halber nenne ich die Gesammtmasse des Eruptivgesteines des Monte Amiata „Trachyt", ohne das Wort im streng petrographischen Sinne gebrauchen zu wollen.

Digitized by Google

ist und auf beiden Seiten, aber besonders nach Osten, sehr steil abfällt.

Der Blick vom Gipfel umfasst ein weites Gebiet (Taf. XV), denn der 1723 m. sich erhebende Monte Amiata ist der höchste Punkt in Toscana, und bei klarem Wetter ist weit nach Norden über Montalcino, jenseits der öden Sand- und Thonhügel bei Asciano, Siena zu sehen. Weiter nach links im Vordergrunde erscheint Pienza und Montepulciano neben dem See jenes Namens und noch weiter der historische Lago Trasimeno und Perugia. Fast am Fuss des Berges, an der römischen Heerstrasse, liegt der Basaltvulkan Radicofani, und jenseits desselben Piete. Mehr südlich erblickt man Acquapendente, in einer Tuffebene, nach dem Lago Bolsena zu, mit der auf einer Halbinsel desselben erbauten kleinen Stadt Capo di Monte. In derselben Richtung ragt der vulkanische Krater Monte Vico empor und erblickt man die scharfe Spitze des Monte S. Oreste. Weiter nach rechts wird die Aussicht begrenzt durch Poggio Belliaria und Poggio della Montagnola; jenseits dieses Gipfels kommt das Vorgebirge Monte Argentaro und die Insel Giglio im Mittelländischen Meere; hinter Poggio Pinzi, einem der Gipfel des Berges selbst, erscheinen die Thürme von Arcidosso und wiederum im Meere die kleine Insel Formiche di Grosseto und der nach dieser Seite der Küste sich schlangenartig windende Fluss Ombrone.

Direct im Westen liegt die Insel Elba, und von da zurück nach Norden zieht sich eine unregelmässige Linie öder Hügel, die in ihrer Einförmigkeit nur durch den Schimmer des Ombrone und seines Nebenflusses Orcia zuweilen unterbrochen werden.

Indem ich nach Castel del Piano zurückkehrte, nahm ich zuerst die Richtung nach links. So gelangte ich durch den Prato Lungo und über meinen früher aufwärts eingeschlagenen Pfad nach dem Thale, welches unmittelbar hinter Castel del Piano sich hinzieht.

Nachdem ich so von jener Seite den Gipfel des Berges kennen gelernt und überall Handstücke gesammelt hatte, war das Nächste zwischen dem eruptiven Gesteine des Berges und den Sedimenten, welche ihn umgeben, die Grenze zu

Digitized by Google

ziehen und einige Örtlichkeiten bei Castel del Piano zu besuchen. Das Auffinden der Grenze war im Allgemeinen eine ziemlich einfache Sache, indem das vulkanische Gestein gewöhnlich plötzlich aufhört, und in vielen Fällen ein dünnes Lager rother Erde oder Steine die Berührungslinie bilden. Dies scheint mir ein ziemlich starker Beweis zu Gunsten der Theorie zu sein, nach welcher der Trachyt aus einer Spalte in dem unterliegenden Gestein emporstieg und seitlich überfloss. Die ebenerwähnte Grenze folgt von Castel del Piano der allgemeinen Richtung des Fiume Ente und geht bei Termine in das Thal Santa Fiora hinüber. Gleich hinter Termine nahm ich einen sehr übeln Geruch wahr und fand in dem Thale gerade am Rande des Trachyts eine mit Schwefelwasserstoffgas gesättigte Quelle. Indem man dieses Thal entlang geht, erreicht man schliesslich Santa Fiora selbst auf einem schmalen Wege längs eines alten Lavastromes, dessen äusserstes Ende von dem Ort eingenommen wird.

Santa Fiora ist bei weitem das angenehmste Städtchen am Fusse des Berges, denn es ist verhältnissmässig sauber und besitzt eine ganz gute Locanda („Della Stella"), wo man sehr wohl aufgehoben ist.

Von Santa Fiora machte ich wieder eine Expedition auf den Gipfel des Berges. Ich verliess das Städtchen früh Morgens und folgte dem Hauptweg bis zum Fosso Fattucchiajo[1] oder Valle dell' Inferno, wie man auch in seinem oberen Theile sagt. Dieser Theil des Marsches nahm beinahe eine Stunde in Anspruch, und dann begann der Aufstieg. Der Weg ging durch Kastanienwälder, und indem ich mich dicht an dem Rande der Schlucht hielt, welche hier ganz trocken war, fand ich das Steigen nicht beschwerlich. Nach einem weiteren Marsche von beinahe einer Stunde kam ich zu einer Stelle, wo die Felsen links viel höher und beinahe senkrecht wurden. Diese imposanten Felsen gehörten dem unteren Theil des Poggio Traburzolo an, einer der Nebenkuppen des Monte Amiata.

An diesen ging ich vorbei und gelangte hinter Poggio

[1] Die sämmtlichen Ortsbezeichnungen entstammen der Angabe des Führers und sonstiger Einheimischer. Wurde auf der Landkarte eine andere Bezeichnung angewandt, so habe ich beide Namen angeführt.



Digitized by Google

Traburzolo auf eine offene Ebene, welche als Pian della Moja bekannt ist, und nun hatte ich die Wahl zwischen zwei Wegen den Berg hinan. Von denselben geht der eine links vom Thale hin und an der Fonte delle Monache vorbei, während der andere sich rechts hält und weiter oben auf den ersteren stösst.

Ich wählte den Weg rechts und kam nach einer kurzen Strecke an einer Stelle vorbei, wo ein Mann pflügte; denn dieser ebene Theil des Berges, obgleich ein sehr armer Boden, wird bis zu einem gewissen Grade bebaut, und die unbebauten Theile werden als Schafweide benutzt. Ich gelangte nun wieder in die Buchenwälder und passirte einige mächtige Bäume von wenigstens zwei Meter im Durchmesser. Hier fing der Aufstieg an sehr schwierig zu werden, und es dauerte einige Zeit, bis ich den Senkrücken zwischen Poggio della Montagnola und Poggio la Crocina erklommen hatte. Diese Einsattelung ist vollständig mit ungeheuren Baumskeletten bedeckt, welche durch ein jenen Theil des Berges verwüstendes Feuer vor einigen Jahren entstanden sind. Die schöne, offene Grasebene, zu welcher ich schnell hinabstieg, war auf allen Seiten, mit Ausnahme der nördlichen, von bewaldeten Hügeln umgeben und gänzlich vor dem Winde geschützt. Dieses ist der sogenannte Prato della Contessa, ungefähr 300 m. lang und etwa halb so breit. Nun wanderte ich die Ostseite von Poggio la Crocina entlang, gerade unterhalb der steilen Kuppe, und nachdem ich am Nordende derselben angelangt war, begann ich nach Vivo zu dem allmähligen Abstieg. Als ich ungefähr die Hälfte der Entfernung zurück gelegt hatte, war ich genöthigt um eine kraterförmige Vertiefung herum zu gehen, deren Rand nur an einer Seite unterbrochen war. Diese hat ungefähr 300 m. im Durchmesser und ist beinahe kreisrund. Gleich hinter derselben befindet sich eine zweite ähnliche Bildung, und zwischen ihnen ein senkrechter Felswall von 6—8 m. Dicke und 10—12 m. Höhe. Diese kreisrunden Amphitheater liegen[1] zwischen Monte Amiata im Süden und einer kleinen Nebenkuppe im Norden, so dass sie in einer Art von Becken sich befinden. Von diesem Punkte läuft der Weg beinahe

[1] Weil beide Boccen auf der beigelegten Karte nicht vermerkt sind, habe ich dieselben durch roth punktirte Kreise bezeichnet.

Digitized by Google

in gerader Linie mit geringem Fall, bis er das Sedimentärgestein erreicht. Das vulkanische Gestein dieses Bergendes gehört zu dem Theile, welcher nach Vivo zu ausgeflossen ist. Von hier aus traf ich in einer halben Stunde in Vivo ein und versuchte für die Nacht Unterkommen zu erhalten, da diess aber unmöglich war, so kehrte ich nach Castel del Piano auf einem sehr schlechten Wege zurück, welcher die ganze Strecke über Kalk- und Sandstein führt, bis er bei Ferriera die Landstrasse erreicht.

Ich machte verschiedene Ausflüge in die Umgegend von Castel del Piano und verfolgte die Grenze des vulkanischen Gesteins zurück bis nach Vivo. Zwischen Castel del Piano und Ferriera zieht sich das Sedimentärgestein weit den Fosso Vella hinauf. Auch hier fand ich die oben erwähnte rothe Grenzlinie vor, welche mich über die Chaussée zurück in die Nähe von Ferriera führte. Der Lavastrom — denn als solcher muss er betrachtet werden — dehnt sich in der Richtung nach Seggiano aus und endigt wie gewöhnlich plötzlich in einer senkrechten Klippe von 10—20 m. Höhe. Von hier läuft die Grenze ziemlich stetig bergauf, an Poggio Sasso Falchi auf der rechten Seite und Poggiolungo auf der linken vorbei, und trifft bald den Weg, den ich von Santa Fiora nach Vivo eingeschlagen hatte. Dieses Mal jedoch folgte ich der Grenze, welche mich vom Wege nach rechts abführte und durch einen schönen Wald nach Fosetti brachte, einer Landspitze zwischen zwei tiefen Schluchten, deren Bäche sich vereinigen, um den Fiume Vivo zu bilden. Dieser Punkt war wegen der dort vorkommenden mannigfaltigen Farben des Gesteines interessant. Schwarzes, rothes und weisses oder graues Gestein fand sich in Streifen von nicht mehr als einigen Centimetern bis mehreren Metern Dicke neben einander vor. Von Fosetti führt der Weg auf dem Rande des vulkanischen Gesteines hinunter zu dem Dorfe Vivo. In Vivo selbst, welches sich an der Seite des Lavastromes angesiedelt hat, fand ich das frischeste Gestein, von dem ich Handstücke besitze. Unterhalb des Dorfes an einer Mühle war nämlich ein förmlicher kleiner Steinbruch, und so war es möglich, gute Stücke dieser höchst merkwürdigen, hellfarbigen, glasigen Bildung zu bekommen, welche für diese Gegend so charakteristisch ist



Digitized by Google

und im äusseren Aussehen dem Granit so sehr gleicht. Jenseits Vivo erstreckt sich der Lavastrom mehr als ein Kilometer nach Norden zu, 15—20 m. hoch, mit senkrechten Seiten, und nicht mehr als 100—150 m. breit. Der Hauptweg nach Torrenieri, einer Eisenbahnstation, zieht sich diesem Rücken entlang und geht am Ende desselben im Zickzack hinunter, kreuzt dann den Fosso Ansedonia und verbindet sich mit der von Campiglia d'Orcia kommenden Strasse.

Von Vivo läuft die Grenzlinie an der Ostseite des Lavastromes unter Lo Caselle und Casenuove hin, wo noch die glasige Gesteinsart zu finden ist, zieht sich dann direct bergauf und kreuzt den flachen Rücken von Pian di Renai, welcher 1150 m. über dem Meeresspiegel liegt, sodann folgt sie, eine kleine Strecke hinabsteigend, der Contour des Berges, indem sie in die Thäler hinein und um die vorspringenden Punkte herum eine beinahe horizontale Richtung innehält. Stellenweise bildet der Trachyt hohe, senkrechte Klippen, welche wiederum den Eindruck von Lavaströmen machen; diese jedoch haben sich abgekühlt, ehe sie so weit wie der von Vivo geflossen sind.

Der Pian di Renai erstreckt sich in nordöstlicher Richtung und endigt in dem Poggio Zoccolino, welcher ein hoher Kalksteinberg ist, und aus dessen Basis mehrere Quellen kochenden Wassers hervorspringen. Dieses mit Gyps gesättigt, bildet den Wasserzufluss für die berühmten Bagni di San Filippo, und aus demselben gewinnt man die bekannten kleinen Gypsabgüsse dadurch, dass man das Wasser von einer beträchtlichen Höhe in aus Schwefel gemachte Formen tropfen lässt. Diese Abgüsse sind desto härter, je grösser die Höhe ist, aus welcher das Wasser herabfällt und nehmen, wenn fertig, eine schöne Politur an.

Ich ging darauf oberhalb der Casa Tasso entlang, wo sich ein ganz frischer, blassrother Trachyt zeigte, und kam, indem ich mich Abbadia San Salvatore näherte, an der Fontina Acqua Passante vorbei, wo sich ein starker Geruch nach Schwefelwasserstoffgas bemerklich machte, und von wo ich fast direct östlich mich nach der Strasse zuwandte, dem Fosso del Prato entlang. An dem Punkte, wo ich die Strasse berührte, fand ich einen grossen Steinblock, welcher ein wenig

Digitized by Google

Schwefelkies in kleinen Schüppchen enthielt. Von hier folgte ich der Hauptstrasse nach Abbadia San Salvatore.

Abbadia San Salvatore mit seinem alten Kloster nimmt das äusserste Ende eines langen vom Berge her geflossenen Lavastromes ein und ist der bedeutendste Ort auf der Ostseite des Monte Amiata. Ich machte ihn für einige Zeit zu meinem Hauptquartier und unternahm von hier einen Ausflug zur Spitze des Berges. Ein guter Weg steigt allmählig empor bis zur Kirche Ermeta, und dann führt ein einfacher Fussweg in der Richtung des Gipfels empor, aber den letzten Theil des Weges muss man zurücklegen, indem man sich durch die verschlungenen Zwergbirken und über die mächtigen Trachytblöcke beinahe senkrecht hinaufarbeitet. Von oben kehrte ich über Corna di Belliaria und eine grosse Strecke öden, uninteressanten, hügligen Bodens, an Podere San Antonio vorbei, zurück. Bei Podere San Antonio wurde ich durch einen wunderbaren Wechsel überrascht: der üppigste Kastanienwald, den ich überhaupt gesehen habe, zeigte sich hier. Ich hatte beinahe vier Kilometer zu gehen, bis ich in Pian Castagnajo eintraf, einem Orte, welcher von dem eben erwähnten Kastanienwalde seinen Namen hat. Von Pian Castagnajo führte mich die Fahrstrasse in anderthalb Stunden nach Abbadia San Salvatore zurück. Einen anderen Ausflug machte ich von Abbadia San Salvatore über den Rücken zwischen dem Corna di Belliaria und La Crocina nach Castel del Piano und kam zu Wagen um den Fuss des Berges herum durch Santa Fiora und Pian Castagnajo zurück. Ferner unternahm ich eine Tour nach Radicofani[1], dem oben erwähnten Basaltvulkan, welcher auf dem directen Saumpfad drei Stunden entfernt ist und eine Stunde weiter ist, wenn man die Fahrstrasse benutzt.

Von Abbadia San Salvatore verfolgte ich sorgfältig die Trachytgrenzlinie nach Pian Castagnajo zu und fand, dass sie in erheblicher Entfernung nach dem Berge zu von dem Wege, der über das Sedimentärgestein führt, ablag, und dass das vulkanische Gestein eine grosse Strecke lang steile, wenigstens 40 bis 50 m. hohe Klippen bildet. Als ich nach

[1] Skizze von Monte Amiata (Taf. XIV).

Digitized by Google

dem Grünstein suchte, welcher auf der vom Rath'schen Karte der Gegend angegeben ist, bemerkte ich als Contactbildung ein solches zersetztes Vorkommen[1]. — Das die Klippen bildende Gestein war von der gewöhnlichen, blassrothen Farbe und schien nicht besonders interessant zu sein. Näher Pian Castagnajo zu war das Gestein dunkler und bei Casa la Fornacina und Il Poderino unterhalb der Stadt schwarz, mit weissen Sanidinkrystallen darin. Pian Castagnajo bedeckt die südöstliche Ecke des Berges, und man hat von seinem südlichen Walle eine schöne Aussicht über das Thal. Hier in der Umgegend von Casa la Fornacina kommt wieder die Terra gialla vor wie bei Castel del Piano. Nach Südosten von Pian Castagnajo wird in dem Sedimentärgesteine ziemlich viel Realgar und Antimonglanz gewonnen. Derartige Gruben werden auch in der Sedimentärbildung südlich von Santa Fiora bearbeitet.

Nachdem ich Abbadia endgültig verlassen, schlug ich einen Weg ein, welcher mich über den südöstlichen Theil des Berges weiter hinauf als Pian Castagnajo führte und in die Nähe von Bagnolo brachte. Ich ging eine Strecke lang auf den hohen Felsen hin, welche die Grenze des vulkanischen Gesteines gegen die Sedimente bilden, entfernte mich dann weiter von der Grenze und erreichte schliesslich die Hauptstrasse am Fosso di Valle Gelata und auf derselben Santa Fiora. In Santa Fiora verwandte ich meine Zeit dazu, die Grenze des vulkanischen Gesteines nach Pian Castagnajo hin zu bestimmen. Nahe bei Casa Crocifisso fand ich an einer Stelle einen grossen Block von Trachyt, der wahrscheinlich von den hohen Klippen sich abgelösst hatte und ein Stück weit hinunter gerollt war. Der Block war 75 m. lang, 25 m. breit und wenigstens 25 m. hoch, theilweise durch die Wirkung des Wassers zersetzt und mit niedrigen Büschen bedeckt.

Ich ging dann unterhalb der Klippen her, welchen ich auf meinem Wege von Abbadia nach Santa Fiora oben entlang gewandert war. Auf dem Rückweg nach Santa Fiora

[1] Über dasselbe und einige Einschlüsse oder Ausscheidungen von Gesteinsarten im Trachyt des Monte Amiata werde ich in einem später zu veröffentlichenden Nachtrage handeln.

Digitized by Google

erlebte ich am Abend eines der heftigsten Gewitter, das ich je gesehen habe. Wir waren so glücklich, einen alten Mann zu retten, der in der pechschwarzen Dunkelheit den Weg verloren hatte und in den Graben gefallen war; er würde wahrscheinlich vor Anbruch des Tages gestorben sein, wenn ich ihn nicht gehört hätte. Ich möchte hier bemerken, dass, wie die übrigen Italiener, auch ganz besonders die Toscaner die Nässe scheuen, aus Furcht das Fieber zu bekommen, und daher, wenn irgend ein Anzeichen von Regen vorhanden ist, nicht aus dem Hause gehen.

Bei Santa Fiora kommt der Fiorit oder der Perlsinter in Hohlräumen des Gesteins vor, und es giebt auch Steatit und Asbest in der Umgegend.

Von Santa Fiora machte ich eine Tour den Fosso del Diluvio hinauf und fand dort in dem trockenen Bett des Baches eine Anhäufung von Mineral- und Gesteinstrümmern, bestehend aus Bruchstücken von Sanidin, kleinen, glasigen Massen, Augiten u. s. w.

Ich arbeitete mich dann zu dem Poggio Traburzolo empor und sammelte eine Anzahl grosser Sanidinkrystalle, meist Karlsbader Zwillinge und theilweise von 5 cm. Länge. Von hier kreuzte ich das Thal bei Pian della Moja und kletterte die sehr steile, dicht bewaldete Seite von Poggio della Montagnola hinauf. Dieser Punkt hat eine Höhe von 1581 m. und gewährt eine herrliche Aussicht auf Monte Amiata einerseits und anderseits auf die Gruppe niedrigerer Spitzen, die südwestlich von Montagnola liegen: nämlich Poggio Pinzi, mit seinen drei Kuppen, dann Poggio Biello, Poggio Traburzolo und zwei oder drei anderen, welche keine besonderen Namen haben. Indem ich darauf von Poggio della Montagnola herabstieg und über den 1341 m. hohen Poggio Biello klomm, kehrte ich über den Pian della Moja und den Fosso Fattucchiajo nach Santa Fiora zurück. Zwischen Santa Fiora und Poggio Traburzolo liegt eine 908 m. hohe Klippe, welche auf der Poggio Traburzolo, das heisst dem Monte Amiata selbst zugewandten Seite senkrecht, und auf der abgewandten Seite, wenn auch steil, doch nicht unzugänglich ist. Ich stieg auf das Riff hinauf, machte es mit grosser Schwierigkeit möglich, auf der anderen Seite hinunter zu kommen, und setzte meine

Digitized by Google

Tour nach Poggio Pinzi fort. Von diesem besuchte ich alle drei Kuppen, konnte aber nirgends eines frischen Handstückes des hier befindlichen, dem typischen Trachyt ähnlichen Gesteins habhaft werden. Dann ging ich nach Castel del Piano zu hinab und erreichte dieses auf demselben Wege, den ich bei meinem ersten Abstieg von La Crocina eingeschlagen hatte.

In Castel del Piano besuchte ich wiederum einige der wichtigsten Fundorte der Umgegend, packte meine gesammelten Handstücke, die 127 kg. wogen und brach von dem Schauplatze meiner sechswöchentlichen, angestrengten Thätigkeit nach Siena auf, wo ich nochmals das Vergnügen hatte, den um die Wissenschaft und speciell die Umgegend von Siena hoch verdienten Herrn Professor Campani zu sehen.

Danach ging es nach Florenz und alsdann weiter nach Norden.

## II. Ueberblick über die hauptsächlichste, die Gesteine des Monte Amiata betreffende Literatur.

Die Literatur über den Monte Amiata umfasst, so weit ich im Stande gewesen bin sie kennen zu lernen, die folgenden Arbeiten. Als die älteste von allen ist eine metallurgische Abhandlung über Toscana von Vannoccio Biringucci Senese mit Bemerkungen über die mineralogischen Producte zu erwähnen. Ferner ein Werk über die Pflanzen und Mineralien von Toscana, besonders des Gebietes von Siena, von Pietro Andrea Mattioli. Diese beiden Werke konnte ich nicht erlangen und kann sie daher nur dem Namen nach angeben. Hingegen erlangte ich Einsicht in das Werk von Pietro Micheli Florentino, dessen Reise im Staate Siena von seinem Schüler und Nachfolger Giovanni Targioni Tozzetti am Ende des IX. und am Anfange des X. Bandes seines zwölfbändigen Werkes „Viaggi in Toscana", im Jahre 1797 in Florenz mit kritischen Noten veröffentlicht worden ist.

Pietro Micheli's Reisebericht besteht aus Notizen, und eine Anzahl derselben bezieht sich auf den Monte Amiata. G. Targioni Tozzetti schreibt Micheli das Verdienst zu, zuerst die vulkanische Beschaffenheit des Vulcans Radico-

Digitized by Google

fani[1] im Jahre 1733 und des Monte Amiata (ib. p. 426) im folgenden Jahre deutlich erkannt zu haben.

Micheli beschreibt den Trachyt (ib. p. 364) (Il Peperino) als dem Granit ähnlich, und aus weissen und schwarzen, glasigen Theilchen bestehend. Von den weissen seien einige hart und einige zerreiblich; die harten, durchsichtiger als die weichen, sehen indessen wie Krystallstückchen (Bergkrystallstückchen (?), im Original Pezzotti di Cristallo) aus; und beide Arten hätten eine unbestimmte Gestalt. Die schwarzen, knolligen zerbröckelten in kleine Stückchen und diese bildeten meistens sechseckige Täfelchen von ungleichen Seiten.

Tozzetti wiederholt (ib. p. 434) diese Beschreibung und fügt die Bemerkung hinzu, dass er die Identität dieses Gesteines mit Granit bezweifle.

Micheli benennt die Einschlüsse (ib. p. 368) in dem Hauptgestein „Anime di Sasso", welche Bezeichnung nachher von Santi gebraucht wird, und erwähnt bei der Gelegenheit mehrere von den verschiedenen Färbungen des Gesteines, über welche Tozzetti noch besondere Bemerkungen (ib. Bd. X p. 33—42) macht. Weiterhin beschreibt Micheli den Talk und die Umbra, welche in der Umgebung des Berges vorkommen und die Erze, die sich in der Gegend südlich von Santa Fiora finden.

Im Jahre 1795 erschien zu Pisa: „Viaggio al Montamiata" di Giorgio Santi in einem Bande. (Zwei andere Bände, im Jahre 1798 und 1806 veröffentlicht, bilden Supplemente dazu und handeln von dem übrigen Theile des Gebietes von Siena, aber sagen wenig oder nichts über den Monte Amiata aus.)

Santi machte seine Reise im August 1789 und beschrieb sie sehr ausführlich. Er begann bei Bagni San Filippo und ging um den Berg herum durch Vivo und Castel del Piano nach Santa Fiora, von welchem letzteren Orte er den Gipfel des Berges erstieg. Er setzte seine Wanderung um die Basis nach Abbadia San Salvatore fort und machte während der Zeit mehrere Abstecher in die umliegende Gegend.

Er beschreibt den Trachyt (Peperino) von Vivo, welchen

[1] Viaggi in Toscana. 1797. Band IX. p. 421.

Digitized by Google

er in zwei Arten[1] theilt. Der erste sehe wie Granit aus und enthalte viele, durch eine glasige, körnige Grundmasse zusammengekittete Glimmerschüppchen und grosse Feldspathkrystalle; die zweite bestehe aus Feldspathen, die aus kleinen übereinander liegenden Stückchen ihrerseits gebildet seien; das ganze Gestein habe ein körniges Ansehen. Er spricht dann von den Farben des Gesteins, welche er beobachtet hat, und beschreibt den Feldspath näher. Das specifische Gewicht des Gesteins wird zu 2.592 angegeben und die Thatsache hervorgehoben, dass es im geschmolzenen Zustande dem geschmolzenen Feldspath gleiche.

Er spricht ausserdem von im Trachyt eingeschlossenen Graphit (ib. p. 96) und von anderen Einschlüssen; ferner von einem rothen, granitähnlichen Trachyt (ib. p. 105) bei Castel del Piano, sowie von einem schwarzen, welcher Spuren von Schmelzung zeige. Diese beiden Gesteine enthalten durchsichtigen oder weissen, undurchsichtigen Feldspath und besitzen eine glasige oder bimmssteinartige Structur. Es ist interessant, die auf diese Trachyte bezügliche Analyse Santi's mit meinen Analysen zu vergleichen, zumal er angiebt, dass er dieselben Bestandtheile in allen ähnlichen Trachyten des Monte Amiata gefunden habe.

Analyse.

| | |
|---|---|
| Silice ($SiO_2$) . . . . . | 79.00 |
| Ferro ($Fe_2O_3$) . . . . . | 14.00 |
| Argilla ($Al_2O_3$) . . . . | 5.00 |
| Magnesia (MgO) . . . . | 2.00 |
| Summa = | 100.00 |

Dabei bemerkt er, dass in der rothen Varietät mehr Kieselsäure und weniger Eisen als in der schwarzen vorhanden sei. Ausserdem beschreibt er eine glasige, halbdurchsichtige, abgerundete, nierenförmige Substanz (ib. p. 125—127), welche er in einem Hohlraume des Trachyts fand und „Perle silicee del Montamiata" nennt, und führt die Zusammensetzung derselben an. (Diese Körper werden jetzt „Lacrime di Santa Fiora", Fiorit oder Perlsinter genannt.) Bei der Analyse verfährt er auf folgende Weise. Da Säuren keine Wirkung hatten, schloss er das Mineral mit Soda auf, löste die Schmelze

[1] Viaggio al Montamiata. Giorgio Santi. Pisa 1795. pp. 65. 66.

Digitized by Google

in Salzsäure und fand, dass die zurückbleibende Masse Kieselsäure war, denn, wie er sagt, löste sie sich unter Brausen zu einem klaren Glas auf, als sie wiederum mit Soda in einem Tiegel zusammengebracht wurde.

Der lösliche Theil der mit Salzsäure behandelten Schmelze bestand aus Kalk und Thonerde. Es fand sich das folgende Verhältniss:

| | |
|---|---|
| Silice ($SiO_2$) . . . . . | 94.00 |
| Calce (Ca O) . . . . . | 4.00 |
| Argilla ($Al_2O_3$) . . . . | 2.00 |
| Summa = | 100.00 |

Das specifische Gewicht bestimmt er als 1.917.

Santi kommt zu dem Resultate[1], dass der ganze Bergcomplex nicht aus einer Öffnung, sondern aus mehreren Schlünden an verschiedenen Stellen emporgestiegen sei. Von diesen seien zwei oder mehr noch deutlich zu erkennen, nämlich das „Valle grande" zwischen Poggio di Montagnola und dem Pinzi dell' Ucello (Poggio Pinzi); dieses wird mit der Solfatara bei Neapel verglichen. Ein anderer Krater, „La piccola Valle" finde sich westlich von Poggio di Montagnola, sei von hohen Wänden umgeben und habe eine vollkommen vulkanische Gestalt. Santi ist der Ansicht, dass durch verschiedene Ausbrüche eine Anzahl von Krateren nach einander gebildet und zerstört worden, und so der Monte Amiata entstanden sei.

Von ihm wird auch aus der Gegend von Le Macinajole unfern Castel del Piano ein hartes, zu Mühlsteinen verwendetes Gestein (ib. p. 136—137) von rother oder grauer Farbe besprochen, in welchem die Hohlräume mit einer glasigen Substanz von gelblicher oder weisser Farbe und halbdurchsichtiger Beschaffenheit angefüllt seien. Er giebt folgende Analyse des Gesteins.

| | |
|---|---|
| Silice ($SiO_2$) . . . . . | 86.00 |
| Ferro ($Fe_2O_3$) . . . . . | 6.00 |
| Argilla ($Al_2O_3$) . . . . | 5.00 |
| Magnesia (Mg O) . . . . | 3.00 |
| Summa = | 100.00 |

Ferner wird von Gli Stabbiati, sowie von einer Örtlichkeit zwischen Arcidosso und Santa Fiora und von Ermeta

[1] Viaggio al Montamiata. Giorgio Santi. Pisa 1795. p. 132—133.

Digitized by Google

eine „Lava limacciosa micacea“ [1] erwähnt, in welcher sich eine durch Glimmerschüppchen hervorgebrachte Schichtung zeige. Stückchen von braunem Feldspath und weissem Quarz, welche bereits dem blossen Auge sichtbar, aber besser mit einer Loupe zu sehen seien, wären im Gestein zu erkennen. Das specifische Gewicht wird zu 2.378 angegeben. Mit Königswasser behandelt, verliere das Gestein $\frac{1}{8}$ seines Gewichts, und die Lösung zeige eine grosse Menge Eisen.

Die Zusammensetzung sei:

| | |
|---|---|
| Silice ($SiO_2$) . . . . . | 66.00 |
| Argilla ($Al_2O_3$) . . . . . | 14.00 |
| Ferro ($Fe_2O_3$) . . . . . | 12.00 |
| Magnesia ($MgO$) . . . . | 8.00 |
| Summa = | 100.00 |

An demselben Orte zwischen Arcidosso und Santa Fiora bemerkte er den Geruch (ib. p. 171) von Schwefelwasserstoffgas und in der Nähe eine Quelle (ib. p. 165) mit kohlensaurem Wasser, „acqua forte“ genannt.

Im Kapitel XII erzählt er von seiner Tour von Santa Fiora auf dem Gipfel des Berges, und beschreibt den letztgenannten als eine lange schmale Ebene von ovaler Form; dabei bekämpft er die Ansicht Ferber's, dass der Gipfel noch Kraterform zeige [2].

Er beschreibt den Blick [3] von der Höhe und erörtert die Wahrscheinlichkeit (ib. p. 227), dass „Valle d'Inferno“ ein alter, von einem Erdbeben durchbrochener Krater sei und sieht darin den grössten übriggebliebenen Krater des Monte Amiata.

Zwischen Pian Castagnajo und Abbadia San Salvatore fand er einen sogenannten Gabbro (ib. p. 268).

---

[1] Viaggio al Montamiata. Giorgio Santi. Pisa 1795. p. 138—139.

[2] J. J. Ferber, Briefe aus Italien, herausgegeben von Baron von Born, Prag 1773. Die deutsche Originalausgabe ist mir nicht zugänglich gewesen. Ich habe dagegen zwei Übersetzungen davon bekommen können (Travels through Italy by J. J. Ferber translated by R. E. Raspe. London 1776. Letter XVII. Siena. May 1772. p. 241. Lettres sur la Minéralogie de l'Italie par J. J. Ferber, traduit par le B. de Dietrich. Strasbourg 1776. Lettre XVII. Sienne. May 1772. p. 369). Ferber beschreibt den Monte Amiata wie er denselben von Radicofani aus sah, ohne eine eingehendere Untersuchung auszuführen. Von seinem Aussichtspunkt aus sah er den scheinbar gebogenen Rücken und schloss daraus, dass auf dem Gipfel ein Krater gewesen sei.

[3] Viaggio al Montamiata. Giorgio Santi. Pisa 1795. p. 223.

Digitized by Google

Im Kapitel XIX behandelt er kurz eine Reihe von italienischen Vulkanen und recapitulirt seine Ansichten über die Bildungsweise des Monte Amiata. Dabei wiederholt er, dass, nach seiner Meinung, derselbe durch eine ununterbrochene massenhafte Erhebung aus dem Meere entstanden und von verschiedenen Krateren, nämlich denen von Valle del Inferno, Valle Grande, Piccola Valle u. s. w. gebildet sei, nachdem der Ausbruch des auf der Spitze befindlichen, ehemaligen Hauptkraters erloschen war. Von dem Hauptkrater habe sich nur eine Seite erhalten, das übrige sei später durch die Eruptionen von Nebenkrateren und durch den Einfluss der Atmosphärilien zerstört worden.

Fr. Hoffmann[1] besuchte im Frühjahr 1830 den Monte Amiata und bestieg am 2. Mai den Gipfel. Er sieht den ganzen Berg als „eine einförmige, auf seinem Gipfel geschlossene Trachytmasse ohne sichtbaren Krater" an. Diese Trachytmasse sei wahrscheinlich im Ganzen und ohne dass Lavaströme ausbrachen aus dem umgebenden oft steil aufgerichteten Flötzgebirge hervorgetreten.

Repetti[2] theilt das Hauptgestein des Monte Amiata in drei Arten ein und giebt denselben die folgenden Namen: „Peperino", Granit-ähnlich, von gleichmässiger Härte, kann mit dem Meissel verarbeitet werden; „Pietra salina", nicht gleichmässig hartes Gestein, gibt bei der Verwitterung einen fruchtbaren Boden; „Sasso morto", ein porphyrartiges Gestein, wird weder durch die Atmosphärilien, noch durch die Wirkung des Feuers verändert. Dann theilt Repetti seine Ansicht über die Entstehung des Berges und die Bildung der Einschlüsse mit.

Sodann sind über den Berg von dem Marchese Lorenzo Pareto zwei wichtige Untersuchungen veröffentlicht worden. In der ersten[3] von diesen beiden wird das Gestein bei Ferriera folgendermassen beschrieben. Es sei ein Gestein reich an Feldspath und enthalte schwarze Glimmerschüppchen; die

---

[1] Fr. Hoffmann, Geognostische Beobachtungen. p. 45. Berlin 1839.

[2] E. Repetti, Relazione di una Excursione geologica al Monte Amiata. Antologia. Tomo 40, No. 119, p. 8 ff. Firenze, Nov. 1830.

[3] Atti della terza Riunione degli scienziati Italiani tenuta in Firenze. p. 175—178. 1841.

Digitized by Google

Blättchen seien manchmal so geordnet, dass man an Gneiss denken könnte. Nicht weit davon zeige sich eine Varietät mit schwarzer Grundmasse und weissem Feldspath, ähnlich wie Porphyr in seinem Aussehen, und auch eine rothe Art mit einer festeren Grundmasse, welche gewöhnlich über der anderen erscheine. Es wird von der rothen Farbe des unterliegenden Eocänkalks und Sandsteins durch heisse Lava gesprochen: Die Masse sehe aus wie Backstein. Pareto erwähnt auch die unregelmässige Zusammenwürfelung der Trachytblöcke auf der Höhe des Berges und führt an, dass die Terrassen, auf welchen die Städte am Fusse des Berges liegen, nach dem Berge zu etwas abfallen.

Er denkt sich[1], dass die Masse des Monte Amiata seiner Zeit als Brei über die „Secundärformation" hingeflossen sei.

In seinen Notizen[2] giebt er an, dass, obgleich man nirgendswo das vulkanische Gestein direct über der Tertiärbildung liegen sehen könne, es doch nicht zu bezweifeln sei, dass die Eruption nicht während der Tertiärzeit, sondern erst nach dieser stattgefunden habe.

In derselben Schrift[2] vergleicht Lodovico Pasini die Trachyte des Monte Amiata mit denen der Euganeen und theilt mit, dass die Gesteine des Monte Amiata ohne oder fast ohne vulkanische Conglomerate seien, die der Euganeen dagegen mit einem vollständigen Conglomeratgürtel umgeben wären. Er fügt weiter hinzu, dass das Amiatagestein als ein umgeschmolzener ehemaliger Granit angesehen werden könne, und dass desswegen zuweilen Quarzstückchen darin vorkämen.

Dann wird der Berg behandelt in „Description des roches ignées et sédimentaires de la Toscane dans leur succession géologique par Igino Cocchi"[3]. Cocchi citirt Santi rücksichtlich der „lava limacciosa Micacea" und bemerkt, dass Savi[4]

[1] Osservazione geologiche dal Monte Amiata a Roma. Giornale Arcadico. Tomo 100. p. 51, mit Karte und Profil, oder Separat-Abdruck p. 24. Roma 1844.

[2] Atti della terza riunione degli scienziati Italiani tenuta in Firenze p. 1841. p. 178.

[3] Bulletin de la Société géologique de France. Série 2. Tome 13. p. 283 ff. 1855—56.

[4] Savi, Memorie per servire allo studio della constituz. fis. della Toscana. Pisa 1837.

Digitized by Google

sie „selagite“, eine echte Minette nenne. Er selbst beschreibt irrthümlich das Gestein als bestehend aus glasigem Feldspath und Quarz!

Das wichtigste Werk über den Berg ist das von Professor G. vom Rath in Bonn: „Ein Besuch Radicofani's und des Monte Amiata in Toscana[1].“

Der Verfasser bespricht zuerst die Literatur unter besonderer Rücksichtnahme auf Santi's Arbeit und auf die Sammlung der Amiata-Gesteine von Professor Campani in Siena. Nach Radicofani wird dann der Monte Amiata im Allgemeinen und das Gestein besonders beschrieben. Prof. vom Rath theilt das Gestein in zwei Arten[2] und giebt ihnen die Namen Rhyolith und Sanidin-Oligoklas-Trachyt. Er sagt: „Der Rhyolith ist ein mittel- bis kleinkörniges granitähnliches Gemenge von Sanidin, grauen, unkrystallinischen Körnern, Magnesiaglimmer, Oligoklas und (in sehr untergeordneter Menge) von Augit.“

„Der Sanidin-Oligoklas-Trachyt besitzt vorzugsweise ein porphyrartiges Gefüge; in einem Gemenge von Sanidin, Oligoklas, Magnesiaglimmer und sehr wenig Augit liegen meist sehr grosse Sanidinkrystalle ausgeschieden.“

Er untersuchte die glasigen Körner des Rhyoliths und fand sie mit kleinen nicht näher von ihm bestimmten Mikrolithen gefüllt. Die folgende Analyse wird gegeben (ibid. p. 413).

Angewandte Menge 0.625 gr.

| | |
|---|---|
| $SiO_2$ . . . . . | 76.82 |
| $Al_2O_3$ . . . . . | 14.01 |
| $CaO$ . . . . . | 1.76 |
| $H_2O$ . . . . . | 0.40 |
| Alkalien aus dem Verluste | 7.01 |
| Summa = | 100.00 |

Specifisches Gewicht bei 22° C. = 2.369.

Er zieht aus dieser Analyse und dem optischen Nachweis, den die HH. Dr. E. Weiss und Prof. M. Schultze ihm geliefert hatten, den Schluss, dass man es überhaupt nicht mit einem Mineral, sondern mit einem den vulkanischen Gläsern ähnlichen Körper zu thun habe. Von den völlig ausgebildeten

[1] Zeitschr. der Deutschen geolog. Ges. Band XVII. p. 399 ff. Mit Tafel. Berlin 1865.

[2] a. a. O. p. 412.

Digitized by Google

Krystallen der Mineralien des Gesteines wird die Beschreibung gegeben und rücksichtlich des Augits hinzugefügt: „Das Vorkommen des Augits ist nicht ohne Interesse, da derselbe in sanidinführenden Trachyten nicht gewöhnlich ist.“

Der Kieselsäuregehalt[1] eines Rhyoliths von le Mura del Terrajo bei Santa Fiora wird zu 67.06 % angegeben und erwähnt, dass dieses Gestein an Stellen zwischen Abbadia San Salvatore und Santa Fiora, sowie auf Pian della Moja und zwischen Pian di Castello und Seggiano zu finden sei. G. vom Rath spricht die Vermuthung aus, dass das Gestein theilweise den unteren Rand und einen Theil des Berges selbst bilden möge, während die andere Varietät den übrigen Theil des Gebirges einnehme. Es seien keine Schlacken und kein Obsidian vorhanden. Der Beschreibung des Rhyoliths wird folgende Bemerkung hinzugefügt: Eine solche Vereinigung von krystallinischen und amorphen Gemengtheilen zu einem Gestein, wie dieselbe in dem Amiata-Rhyolith vorliegt, ist vielleicht noch nicht beobachtet worden. Häufig bemerkt man wohl krystallinische Ausscheidungen in einer glasigen Grundmasse, aber nicht umgekehrt in einem krystallinisch-körnigen Gemenge „unkrystallinische Glaskörner“. Der Sanidin-Oligoklas-Trachyt (ib. p. 415) bestehe aus einer rauhen, oft „feinporösen Grundmasse“, in welcher einige grosse Sanidinkrystalle mit Oligoklas, Augit, Magnesiaglimmer und selten Hornblende vorkämen. „Aus dieser Trachyt-Abtheilung“, sagt er, „bestehen die beiden hohen Gipfel, dann der Poggio Pinzi, also die ganze höhere Region des Gebirges. Sie tritt indess auch vielfach an den unteren Gehängen, so an den Felsen von Santa Fiora, bei Abbadia S. Salvatore und andern Orten auf. Die Einschlüsse, „Anime di Sasso“, deren Beschaffenheit beschrieben wird, zeigen sich am häufigsten in dem Trachyt. vom Rath bedauert (ib. p. 417) in seinem Werke „Über das relative Alter der beiden im Monte Amiata-Gebirge auftretenden Trachytarten leider keine entscheidenden Beobachtungen haben machen zu können.“

Über das geologische Alter des Berges spricht G. vom Rath keine Ansicht aus, erwähnt (ib. p. 407) aber die soeben

[1] a. a. O. p. 413.

Digitized by Google

mitgetheilte Ansicht Pareto's und führt zur Bestätigung derselben das Auffinden eines *Ammonites varians* in den den Monte Amiata umgebenden Schichten von San Filippo durch T. Nardi an. Nachdem er seine Tour (ib. p. 417) auf den Gipfel des Berges und die dort genossene Aussicht geschildert, schliesst er die Abhandlung mit einigen Worten über die Bagni San Filippo, die Gypsabgüsse, den Schwefel von Solfiere, den Hyalit (ib. p. 421) (Perlsinter) von Santa Fiora und endlich über die Umbra und „Sale di Luna".

Zunächst erschien alsdann Statistica della Provincia di Grosseto von Giuseppe Meneghini u. a. 1865, von welchem Werke ich einen Separatabdruck der geologischen Abtheilung bekam. Darin sind hauptsächlich die Arbeiten[1] von Pareto und vom Rath aufgenommen.

Professor E. Weiss beschreibt sehr ausführlich die Beschaffenheit der Sanidine, welche in den beiden von vom Rath aufgestellten Gesteinsarten vorkommen, bezüglich ihrer optischen Verhältnisse[2]. Er fand in beiden Typen einzelne Sanidine, in welchen die Ebene der optischen Axen senkrecht zur Symmetrieebene war und durch Erhitzen in das Klinopinakoid überging. Er fand auch sogar Krystalle, in welchen an einzelnen Stellen die optische Axenebene im Klinopinakoid, an anderen senkrecht dazu lag. Ferner führt E. Weiss seine makroskopischen (ib. p. 67) und mikroskopischen (ib. p. 138) Beobachtungen über die Grundmasse des Amiata-Rhyoliths an und legt einige Abbildungen der in demselben vorkommenden mikroskopischen Einschlüsse bei. Er citirt auch vom Rath's Beschreibung des Gesteines (ib. p. 137) und die Meinung Pareto's, dass der Amiatatrachyt dem der Euganäen gleiche.

Bezüglich der Bildung (ib. pag. 121—122) des Gesteines und der Temperatur, bei welcher jene vor sich ging, ist E. Weiss der Ansicht, dass der jetzige physikalische Zustand der Krystalle, besonders das optische Verhalten der Sanidine, ein Mass für die damals stattgehabte Temperatur abgeben könne. Er legt sich zwar die Frage vor, „sollten nicht die Krystalle, nachdem sie heftige Gluthen ausgehalten haben,

[1] Descrizione della Carta di Grosseto p. 401 ff.

[2] Ch. E. Weiss, Beiträge zur Kenntniss der Feldspathbildung. Haarlem. 1866. p. 55 u. 66.



Digitized by Google

mit der Zeit — sei es nur durch diesen Factor, sei es im Verein mit chemischen Einwirkungen — allmählig auf ihren ursprünglichen Stand wieder zurückkehren?" beantwortet diese Frage aber dahin: „Die Metamorphose durch den Factor Zeit dagegen lässt sich unschwer widerlegen." Es „ist kein Zweifel, dass die Natur ihre einstigen Wirkungen durch die Zeit nicht zurück nimmt, dass wir vielmehr noch denselben physikalischen Zustand der Krystalle haben, in welchem sie deponirt wurden". — So werthvoll die Beobachtungen von E. Weiss auch sind, so vermag ich doch mich den letzterwähnten Schlussfolgerungen nicht anzuschliessen und halte Änderungen des physikalischen Zustandes der Feldspathe durch die Zeit und andere Factoren für nicht ausgeschlossen.

B. Lotti schildert in seinem Aufsatz [1] „Il Monte Amiata" den Berg in Bezug auf seine geographische Lage (ib. p. 252) und erwähnt in sehr ausführlicher Weise die auf denselben bezügliche Literatur und diejenige über die Erze und nutzbaren Erden seiner Umgebung. Er fügt dann einige Angaben über die unter dem Monte Amiata gelegene Eocän- und Kreideformation hinzu (ib. 363) und geht danach zur Beschreibung der eruptiven Gesteine über. Die von G. vom Rath beschriebenen beiden Hauptgesteinsarten werden ohne etwas wesentlich Neues hinzuzufügen geschildert. Was die Einschlüsse (Anime di Sasso) anlangt, so werden dieselben sehr ausführlich beschrieben und mit anderen Eruptivgesteinen der Umgegend verglichen. Der Verfasser meint, dass, obwohl das Valle dell' Inferno wie der Rest eines Kraters aussehe, der Monte Amiata dennoch ohne Kraterbildung entstanden sei. Ferner gibt er an, dass die beiden Gesteinsarten des Monte Amiata sich nicht derartig von einander unterscheiden, dass man sie verschiedenen Ausbrüchen zurechnen könne. Eine nähere Begründung dieses Ausspruches sucht man indessen vergebens. Lotti glaubt in dem Berg ein Beispiel der sogenannten homogenen Vulkane zu sehen. Als neuer Beweis dafür, dass der Monte Amiata nach der Pliocänformation entstanden sei, gibt der Verfasser an,

[1] Bolletino del R. Comitato Geologica d'Italia. Mit zwei in den Text gedruckten Profilen. Tomo IX. Roma 1878.

Digitized by Google

dass in den nahe liegenden Pliocänschichten keine Trachytstücke zu finden seien. Folgendes Bild macht sich Lotti von der Entstehung des Monte Amiata. Am Schluss der Pliocänperiode befand sich mit Ausnahme des Monte Labbro und seiner Abhänge die ganze Gegend des Monte Amiata unter Wasser. Am östlichen Rand dieser Insel hat dann eine Eruption des Trachyts stattgefunden, welche vielleicht nur als nachfolgend auf eine Eruption eines basischeren Gesteins anzusehen ist. Bei der Eruption des Monte Amiata ist das Magma ruhig über die Oberfläche der unterliegenden Schichten geflossen und hat hierbei Brocken von den älteren Gesteinen mitgerissen und eingeschlossen.

## III. Mineralogisch-petrographische Untersuchungen.

### 1. Gesteinsuntersuchungen in chemischer Hinsicht und mit Rücksicht auf makroskopisches Verhalten.

Vom chemischen Standpunkt aus betrachtet zeigen alle Hauptgesteinsarten eine grosse Ähnlichkeit unter einander, und die Analysen deuten auf ein, bis auf geringe Schwankungen, einheitliches Magma hin.

Den Gang der Analysen, die mit wenigen Ausnahmen in gleicher Weise ausgeführt wurden, will ich in Kürze hier erörtern. Von dem Gestein habe ich gewöhnlich zwischen 20 und 30 gr. abgeschlagen und grob gepulvert. Zur Kieselsäurebestimmung habe ich jeweils ein Gramm sehr fein gepulvertes Material genommen und mit Soda aufgeschlossen. Die Kieselsäure wurde, nachdem sie vor dem Gebläse geglüht und gewogen war, stets mit Flusssäure und Salzsäure zweimal behandelt, der gewogene Rückstand mit dem Eisen und der Thonerde vereinigt, und nach dem Verfahren von Herrn Professor Dr. P. Jannasch weiter verarbeitet. Zu diesem Zweck schmilzt man das Gemenge mit saurem schwefelsaurem Kalium auf. Nach dem Erkalten dieser Schmelze wurde sie in kaltem Wasser aufgelöst. Was noch ungelöst in Gestalt von weissen schweren Flocken zurück blieb, wurde abfiltrirt, mit kaltem Wasser ausgewaschen, gewogen, mit Flusssäure und Salzsäure eingedampft, stark geglüht und wieder gewogen. Das Filtrat der Schmelze wurde in der Kälte mit



Digitized by Google

Schwefelwasserstoffgas gesättigt. Hierbei entstand stets eine Fällung brauner Flocken, die wie die andern vorher besprochenen Flocken behandelt und mit diesen zusammen gewogen wurden. Diese beiden Niederschläge sind in den Analysen mit demselben Zeichen nämlich mit X[1] bezeichnet. Die Titansäure wurde alsdann aus der Lösung, in welcher durch das Schwefelwasserstoffgas das Eisenoxyd zu Eisenoxydul reducirt worden war, durch Kochen in einem Kohlensäure-Strom gefällt. Eisen und Thonerde wurden in der gewöhnlichen Weise durch Schmelzen im Silbertiegel mit Natron getrennt. Kalk wurde durch Ammonoxalat gefällt und nach zwölf Stunden abfiltrirt. Das gefällte Calciumoxalat wurde stark vor dem Gebläse geglüht, um kleine Alkalien-Reste zu verflüchtigen, und als Kalk gewogen. Das Magnesium wurde als Magnesiumammonphosphat gefällt, vor dem Gebläse in Magnesiumpyrophosphat übergeführt und als solches gewogen.

Bei der Alkalienbestimmung wurde gleichfalls ungefähr 1 gr. des Gesteinspulvers in Behandlung genommen. Dasselbe wurde mit Flusssäure und Schwefelsäure zwei Mal behandelt und nachdem die überschüssige Schwefelsäure zum Schluss auf dem Luftbade abgeraucht war, mit Salzsäure aufgenommen. Eisen und Thonerde wurden mit Ammoniak gefällt. Calcium wurde wie bei der Kieselsäurebestimmung gefällt, in Salzsäure gelöst und wiederum gefällt, um auf diese Weise alles Alkali im Filtrat zu behalten. Diese beiden Filtrate des Calciumniederschlages wurden vereinigt, eingedampft und der Salzrückstand schwach geglüht, um die Ammonsalze zu entfernen. Der Rückstand wurde mit Wasser aufgenommen und die Schwefelsäure darin durch Bleiacetat entfernt und das Blei nachher mittelst Schwefelwasserstoffgas als Bleisulfat wieder herausgefällt. Zu der abfiltrirten Flüssigkeit wurde Salzsäure hinzugesetzt und die ganze Lösung zur Trockne gebracht. Der Rückstand wurde wieder gelöst, mit Quecksilberoxyd in einer Platinschale eingedampft und schwach

[1] Eine nähere Bestimmung dieser Substanz (vergl. Knop in Zeitschr. f. Krystallogr. Bd. X, 1884, p. 58 u. ff. und Beiträge zur Kenntniss der Eruptivgesteine des Christiania-Silurbeckens von Lang und Jannasch, Christiania 1886, p. 39 u. 113), welche wahrscheinlich ein Gemisch von Oxyden seltener Erden, unter diesen vielleicht Zirkonerde, darstellt, war ir ihrer geringen Menge wegen nicht möglich.

Digitized by Google

erhitzt, bis das überschüssige Quecksilberoxyd und Quecksilberchlorid sich verflüchtigt hatten. Durch diesen Process war das Magnesium in unlösliches Magnesiumoxyd übergeführt, so dass die Alkalien von ihm durch Lösen in Wasser getrennt werden konnten.

Die Alkalien wurden wie gewöhnlich bestimmt, d. h. das Kalium wurde als Kaliumplatinchlorid und das Natrium als Natriumsulfat gewogen.

Als bemerkenswerthen Umstand habe ich noch hinzuzufügen, dass bei dem Eisen- und Thonerdeniederschlag der Alkalienbestimmung, welcher nicht verarbeitet, sondern aufbewahrt wurde, um im Nothfall benutzt werden zu können, unter Umständen etwas Kalk als Gyps beigemengt bleibt.

Spektroskopisch war Lithium stets bei dem Natrium wahrzunehmen, und zwar zuweilen augenscheinlich in nicht unbedeutender Menge. Ich habe es einige Male in der gewöhnlichen Weise mit Ätheralcohol bestimmt, fand es aber immer noch etwas natriumhaltig, während das Natrium keine Spur von Lithium zeigte.

Eisenoxydul habe ich immer in folgender Weise bestimmt. Eine besondere Portion des Gesteinspulvers wurde mit Flusssäure und Schwefelsäure im Kohlensäurestrom nach der Methode von Pebal-Dölter aufgeschlossen. In der Lösung wurde das Eisenoxydul durch Titriren mit Kaliumpermanganat bestimmt. Einige Versuche in Bomben mit Schwefelsäure lieferten mir keine guten Resultate; denn das angewandte Pulver zeigte immer noch kleine, schwarze, unzersetzte Gesteinspartikelchen, obschon ich die Bomben bei höherer Temperatur und während längerer Zeit, wie vorgeschrieben ist, erhitzt habe.

Zur Schwefelsäurebestimmung habe ich ungefähr ein halbes Gramm Material mit Königswasser einige Zeit behandelt und die Lösung dann beinahe zur Trockne gebracht. Es wurde hierauf neue Salzsäure hinzugesetzt, digerirt, abfiltrirt und die Schwefelsäure als Bariumsulfat gefällt. Mit diesem Versuch kann man eine Löslichkeitsbestimmung vereinigen. Man behandelt das abfiltrirte Pulver mit Natron, um die lösliche Kieselsäure zu beseitigen und wäscht den Rückstand mit verdünnter Salzsäure aus. Eine solche Löslichkeitsbestimmung habe ich nur einmal ausgeführt.

Digitized by Google

Ich habe das Chlor und die Phosphorsäure immer in einer und derselben Pulverprobe bestimmt, indem ich das sehr feinzerriebene Pulver 10—20 Minuten mit verdünnter Salpetersäure lebhaft kochte und das Filtrat hievon in einem 100 cc-Fläschchen über Nacht stehen liess. Die Hälfte der Flüssigkeit habe ich, mit einer 50 cc-Pipette, ohne umzurühren, herausgenommen und das Chlor darin bestimmt, während die anderen 50 cc in einer Porcellanschale zur Trockne gebracht wurden. Um die Kieselsäure unlöslich zu machen, wurde der Rückstand auf 110° C. im Luftbad erhitzt, und dann mit verdünnter Salpetersäure aufgenommen und mit Molybdänlösung versetzt. Bei diesem Versuch habe ich immer eine gelbe Färbung, aber niemals einen Niederschlag bekommen.

Der Glühverlust wurde in einem Platintiegel bestimmt, welchen ich anfangs mit der kleinen Flamme des Bunsen'schen Brenners, zum Schluss vor dem Gebläse glühte.

Die directe Wasserbestimmung wurde in einem böhmischen Kugelrohr vorgenommen. Das durch die starke Hitze ausgetriebene Wasser wurde in einer Röhre mit Calciumchlorid aufgefangen.

Die specifischen Gewichtsbestimmungen wurden in allen Fällen, wo es sich nur um Gesteine handelte, mit einem Pyknometer von ungefähr 12 cc. Inhalt ausgeführt.

Alle Niederschläge wurden auf Reinheit geprüft und eventuell zum zweiten Male gefällt und gewogen.

Aus Gründen, die ich nachher besprechen werde, habe ich die analysirten Gesteine in der Weise zusammen gruppirt, dass die am Rande des Berges liegenden, körnigen und glasführenden Gesteine zuerst behandelt werden, und nachher diejenigen kommen, welche den Haupttheil des Berges bilden.

1. Der charakteristischste Vertreter der ersten Abtheilung ist das helle, feinkörnige, granitähnliche Gestein von einem kleinen Steinbruch bei der Mühle unterhalb Vivo.

Makroskopisch enthält dieses Gestein sehr viel von der später näher zu beschreibenden in Glaskügelchen abgesonderten, durchsichtigen Grundmasse, nicht grosse Sanidinkrystalle, hexagonal erscheinende Biotitschüppchen und schwer zu erkennende Augit- und Plagioklaskrystalle.

Digitized by Google

Das Gestein zeigt wegen der parallelen Lage der Biotitblättchen zuweilen eine undeutliche Schieferung. Viele Gesteine, mit welchen wir es zu thun haben, zeigen eine solche Schichtung mehr oder weniger deutlich.

Ich bin in der Lage, durch die Güte des Herrn PALMER C., RICKETTS C. E., WILLIAM HOWARD HART Professor der technischen und analytischen Mechanik am Rensselaer Polytechnischen Institut zu Troy N. Y., U. S. Amerika, die folgenden Resultate einiger Versuche anführen zu können, die ich mittelst der dort befindlichen TINIUS OLSEN'schen Compressionsmaschine ausgeführt habe. Diese Experimente wurden an kleinen rechtwinkligen, glattgeschliffenen Säulen ausgeführt, welche eine Länge von 1.5 cm. und eine Querfläche von 1 qcm. besassen.

Die drei zur Untersuchung verwandten Säulen wurden derart aus dem Gestein herausgeschnitten, dass die eine derselben (im Folgenden Säule I genannt) mit ihrer Längsaxe senkrecht zur oben erwähnten Schieferung des Gesteines orientirt war, die Längsaxen der beiden anderen Säulen (Säulen II und III) in der Schieferungsebene selbst lagen, und senkrecht auf einander standen. Der Druck wurde jedes Mal in der Richtung der Längsaxe der Säule ausgeübt. An den beiden Enden waren die Säulchen mit Pappdeckeln[1] versehen. Sie wurden bei folgenden Belastungen zertrümmert:

| | Kilogramm |
|---|---|
| Säule I . . . . . | 1225[2] |
| Säule II . . . . . | 1110 |
| Säule III . . . . . | 1066 |

In anderen Fällen, in denen ich solche Compressionsversuche gemacht habe, ist dasselbe Verfahren immer beibehalten worden.

Die zur Analyse angewandte Probe des in Rede stehenden Gesteins liess sich leicht zerkleinern, aber das Feinpulvern war wegen der Härte der kleinen Glaskugeln schwierig.

[1] Tests of Rutland and Washington County Slates by J. FRANCIS WILLIAMS C. E., B. S.

VAN NOSTRAND's Engineering Magazine No. CLXXXVIII. pp. 101—103. New York. Aug. 1884.

[2] Durch einen Fehler in der Wägung ist diese Zahl nur approximativ, entfernt sich aber nicht weit von dem richtigen Werth.

Digitized by Google

Die Analyse ergab:

| | | |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 65.58 | |
| $Al_2O_3$ | 15.79 | |
| $Fe_2O_3$ | 0.94 | |
| $FeO$ | 2.44 | |
| $TiO_2$ | 0.58 | |
| X | 0.73 | |
| $CaO$ | 3.08 | |
| $MgO$ | 1.47 | |
| $MnO$ | Spur | |
| $K_2O$ | 5.67 | |
| $Na_2O$ | 2.58 | |
| $Li_2O$ | Spur | |
| $H_2O$ | 1.16 | (direct) |
| $SO_3$ | 0.19 | |
| Cl | Spur | |
| $P_2O_5$ | Spur | |
| Summa | 100.21 | |

Glühverlust = 1.14

Specifisches Gewicht bei 15° C. = 2.527

2. Dieser Analyse sehr nahe stehend ist die eines Gesteines von Nocchetto bei Castel del Piano. Im äusseren Ansehen ist letzteres kaum von dem von Vivo zu unterscheiden, abgesehen davon, dass es nicht ganz so fest wie das letztere ist. Als chemische Zusammensetzung ergab sich folgende:

| | | |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 65.69 | |
| $Al_2O_3$ | 16.41 | |
| $Fe_2O_3$ | 0.73 | |
| $FeO$ | 2.74 | |
| $TiO_2$ | 0.44 | |
| X | 0.77 | |
| $CaO$ | 3.36 | |
| $MgO$ | 1.42 | |
| $MnO$ | Spur | |
| $K_2O$ | 5.24 | |
| $Na_2O$ | 2.39 | |
| $Li_2O$ | 0.24 | |
| $H_2O$ | 1.20 | (direct) |
| $SO_3$ | 0.17 | |
| Cl | 0.03 | |
| $P_2O_5$ | Spur | |
| Summa = | 100.83 | |

Glühverlust = 1.23

Specifisches Gewicht bei 15° C. = 2.581

Digitized by Google

3. Von einem Gesteine von Piombado unfern Castel del Piano habe ich nur eine Kieselsäurebestimmung gemacht, da das Handstück eine sehr grosse Ähnlichkeit mit denen der beiden vorhergehenden Vorkommnisse besitzt.

Der Kieselsäuregehalt betrug:

$$SiO_2 = 65.33$$

4. Hier schliesse ich eine weitere Kieselsäureanalyse eines Gesteines von Macchia del Conte bei Vivo an, eines Gesteines, das in der Weise verwittert erschien, dass es bis zu einer Tiefe von 2 cm. zu einem sehr festen Material erhärtet war, jedenfalls durch Auslaugen und Wiederfestwerden eines Theiles der Kieselsäure. Durch diesen Process ist der Kieselsäuregehalt der Verwitterungsrinde bis:

$$SiO_2 = 66.33$$

erhöht worden.

5. Bei Casa la Fornacina unfern Pian Castagnajo kommt ein beinahe schwarzes Gestein mit zahlreichen, eingesprengten, weissen Feldspathen vor. Es pulverisirt sich sehr leicht und sieht als grobes Pulver fast schwarz aus, nimmt aber bei weiterem Pulvern eine graue Farbe an. Durch Erhitzen verliert es diese Farbe und wird roth. Es deutet dies Verhalten wahrscheinlich auf die Anwesenheit von organischen Substanzen hin. Allein dieselben lassen sich durch eine Verbrennung in einem Kugelrohr als solche nicht bestimmen. Die Grundmasse sondert sich sehr leicht in dunkle glasige Kügelchen ab, die von geringeren Dimensionen als diejenigen des Vivogesteines sind. Wegen der Gesteinsfarbe sind die Biotite und Augite nicht so leicht makroskopisch zu erkennen wie in den helleren Arten. Das Gestein, wenn geschliffen und polirt, hat sehr viel Ähnlichkeit mit einem schwarzen Porphyr, ist aber poröser als ein solcher.

Drei Compressionsversuche, ähnlich denjenigen, welche beim Vivogestein angestellt wurden, ergaben:

| | Kilogramm |
|---|---|
| Säule I . . . . . | 2495 |
| Säule II . . . . . | 2268 |
| Säule III . . . . . | 2177 |

Man erkennt, dass die Festigkeit des Gesteines in der Richtung senkrecht auf die Schieferung bedeutend grösser ist, als in den Richtungen der Schieferungsflächen.

Digitized by Google

Die chemische Zusammensetzung des Gesteines ist folgende:

| | | |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 65.53 | |
| $Al_2O_3$ | 16.89 | |
| $Fe_2O_3$ | 1.00 | |
| FeO | 2.38 | |
| $TiO_2$ | 0.46 | |
| X | 0.61 | |
| CaO | 3.24 | |
| MgO | 1.17 | |
| MnO | Spur | |
| $K_2O$ | 4.59 | |
| $Na_2O$ | 2.71 | |
| $Li_2O$ | Spur | |
| $H_2O$ | 1.98 | (direct). |
| $SO_3$ | 0.20 | |
| Cl. | 0.09 | |
| $P_2O_5$ | Spur | |
| Summa = | 100.85 | |

Glühverlust = 2.00

Specifisches Gewicht bei 15° C. = 2.540

6. Bei Fosso del Prato bei Abbadia San Salvatore fand ich ein Gestein von stahlgrauer Farbe. Es besteht aus ziemlich feinkörnigen Gemengtheilen, enthält jedoch auch einige grössere Sanidine. Ausserdem fallen in ihm eine Menge von Schwefelkiesschüppchen auf, die sich fest an die Sanidinkrystalle angeheftet haben. Das sehr feingepulverte Gestein wurde um die Menge des Schwefelkieses zu bestimmen, mit Salzsäure und Flusssäure behandelt. Der Schwefelkies wurde durch diese Mischung gar nicht angegriffen, während die Kieselbestandtheile vollständig gelöst wurden. Die verdünnte Flüssigkeit wurde durch ein gewogenes Filter gegossen. Der Schwefelkies wurde mit dem Filter bei 110° C. getrocknet und gewogen. Nachher wurde er mit Salpetersäure oxydirt, getrocknet, mit Soda und Salpeter geschmolzen, um das Eisen und den Schwefel direct bestimmen zu können.

Die Analyse ergab:

| | |
|---|---|
| $SiO_2$ | 65.31 |
| $Al_2O_3$ | 16.36 |
| $Fe_2O_3$ | 0.68 |
| FeO | 1.68 |
| $FeS_2$ | 1.29 |

Digitized by Google

| | | |
|---|---|---|
| $TiO_2$ | 0.47 | |
| X | 0.85 | |
| CaO | 2.85 | |
| MgO | 1.06 | |
| MnO | Spur | |
| $K_2O$ | 5.97 | |
| $Na_2O$ | 2.78 | |
| $Li_2O$ | Spur | |
| $H_2O$ | 1.01 | (direct) |
| $SO_3$ | 0.00 | |
| Cl | Spur | |
| $P_2O_5$ | Spur | |
| Summa = | 100.31 | |

Glühverlust = 1.77

Specifisches Gewicht bei 15° C. = 2.546

Der gesammte Schwefel ist als Schwefelkies in dem Gestein enthalten.

7. Wir kommen nunmehr zu einem Gestein, das dem Trachyt des mittleren Theiles des Berges zugerechnet werden muss, obgleich es nicht ganz so grosse Gemengtheile wie das folgende Gestein enthält. Dasselbe stammt von einem Fundort, der ein paar hundert Meter oberhalb Casa Tasso bei Abbadia San Salvatore liegt. Das Gestein ist röthlich und besteht aus ziemlich grossen Gemengtheilen. Besonders sind die Sanidine zu bemerken. Auch Plagioklase und Augite sind mit blossem Auge zuweilen zu erkennen. Mittelst der D. Klein'schen Flüssigkeit habe ich eine ziemlich vollständige Trennung der verschiedenen Gemengtheile bewirken können. Die Analysen dieser einzelnen Mineralien und der Grundmasse sind weiter unten besonders angegeben. Wie die vorhin genannten Gesteine schmilzt dieses Gestein vor dem Gebläse sehr schwierig zu einem dunklen Glase.

Die Analyse ergab:

| | |
|---|---|
| $SiO_2$ | 65.32 |
| $Al_2O_3$ | 15.34 |
| $Fe_2O_3$ | 1.22 |
| FeO | 2.18 |
| $TiO_2$ | 0.40 |
| X | 0.57 |
| CaO | 2.99 |
| MgO | 1.51 |
| MnO | Spur |

Digitized by Google

| | | |
|---|---|---|
| $K_2O$ | 5.70 | |
| $Na_2O$ | 2.75 | |
| $Li_2O$ | Spur | |
| $H_2O$ | 1.97 | (direct) |
| $SO_3$ | 0.03 | |
| Cl | 0.05 | |
| Summa = | 101.03 | |

Glühverlust = 2.09

In Königswasser löslich = 19.90 %

Specifisches Gewicht bei 15° C. = 2.552

8. Ich komme jetzt zu den Hauptgesteinen des Gebirges, welche aus noch gröberen Gemengtheilen bestehen. Diese Gesteine haben in der Regel eine graulich-weisse oder hellrothe Farbe und enthalten Sanidinkrystalle, die bis zu drei Centimeter im Durchmesser erreichen. Der Biotit tritt etwas zurück, ist aber stets vorhanden. Von Augit und Plagioklas ist makroskopisch wenig sicher zu erkennen. Die Grundmasse erscheint nicht mehr als glasige, schön glänzende Substanz, die für die erst beschriebenen Gesteine so charakteristisch war, hat vielmehr ein matteres Aussehen.

Zur Analyse habe ich eine Probe eines gelblichweissen Gesteines von der Spitze des Poggio Traburzolo genommen. Sie lieferte die folgenden Resultate:

| | | |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 64.76 | |
| $Al_2O_3$ | 16.48 | |
| $Fe_2O_3$ | 0.74 | |
| FeO | 2.74 | |
| $TiO_2$ | 0.42 | |
| X | 0.33 | |
| CaO | 3.24 | |
| MgO | 1.74 | |
| MnO | Spur | |
| $K_2O$ | 5.49 | |
| $Na_2O$ | 2.67 | |
| $Li_2O$ | Spur | |
| $H_2O$ | 1.62 | (direct) |
| $SO_3$ | 0.08 | |
| Cl | 0.01 | |
| $P_2O_5$ | Spur | |
| Summa = | 100.32 | |

Glühverlust = 1.55

Specifisches Gewicht bei 15° C. = 2.562

Digitized by Google

Auf der obersten Spitze des Monte Amiata, La Crocina, kommen, wie bereits erwähnt, mächtige Gesteinsblöcke vor, die zweierlei Farben haben, nämlich gelblichweisse und hellrothe.

9. Von der ersten Varietät, die mehr Sanidin in kleineren Krystallen enthält, habe ich nur eine Kieselsäurebestimmung gemacht. Dieses Gestein war etwas spröde und liess sich schwer pulvern. Es fühlt sich rauh an.

Der Kieselsäuregehalt beträgt

$$SiO_2 = 66.82$$

Zur Controlle wurde diese Bestimmung wiederholt. Ich bekam

$$SiO_2 = 66.94$$

10. Von der rothen Varietät habe ich eine vollständige Analyse ausgeführt und einen etwas niedrigeren Gehalt an Kieselsäure bekommen.

Diese Bestimmung habe ich zur Sicherheit auch zwei Mal und mit übereinstimmenden Resultaten angestellt.

Die Analyse ergab:

| | | |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 63.15 | |
| $Al_2O_3$ | 16.29 | |
| $Fe_2O_3$ | 1.76 | |
| $FeO$ | 2.40 | |
| $TiO_2$ | 0.30 | |
| X | 0.47 | |
| $CaO$ | 3.61 | |
| $MgO$ | 1.87 | |
| $MnO$ | Spur | |
| $K_2O$ | 5.96 | |
| $Na_2O$ | 2.46 | |
| $Li_2O$ | Spur | |
| $H_2O$ | 2.28 | (direct) |
| $SO_3$ | 0.11 | |
| Cl | 0.11 | |
| $P_2O_5$ | Spur | |
| Summa = | 100.77 | |

Glühverlust = 1.96

Specifisches Gewicht bei 15° C. = 2.615

Die weissen Sanidinkrystalle in der rothen Grundmasse geben dem Gestein einen porphyrischen Charakter, besonders

Digitized by Google

wenn es angeschliffen und polirt ist. Das Gestein ist weich und lässt sich leicht pulvern, hat aber eine gewisse Festigkeit, wie die folgenden Versuche zeigen.

Weil die Handstücke von La Crocina die nöthige Dicke von 1½ cm. nicht hatten, war ich dazu gezwungen, ein ganz ähnliches Stück von Poggio della Montagnola, der zweit höchsten Spitze des Gebirges zu den Experimenten zu benutzen. Die Säulen wurden wie gewöhnlich gefertigt, und es ist hier nur zu bemerken, dass die Schichtung etwas deutlicher zu sehen war als in den andern Stücken, welche zu den früheren Compressionsversuchen gedient hatten. In zweien der Stücke entstand ein Riss, ehe sie zerkrümelten, in beiden Fällen ist es angegeben bei welchem Druck diese Risse sich einstellten.

| | Kilogramm | |
|---|---|---|
| | Riss | zertrümmert |
| Säule I . . . | 1960 | 2495 |
| Säule II . . . | 1723 | 2177 |
| Säule III . . . | — | 2177 |

Dieser Versuch zeigt sehr deutlich, dass in den zwei, in der Ebene der Schichtung liegenden Richtungen die Festigkeit des Gesteines annähernd gleich ist, während sie in der dazu senkrecht liegenden Richtung bedeutend grösser ist.

### 2. Untersuchung der Mineralien, welche an der Zusammensetzung des Amiatagesteins sich betheiligen[1].

Was die betreffenden Mineralien anlangt, so habe ich das, was sie in chemischer, makroskopischer und mikroskopischer Hinsicht Bemerkenswerthes zeigen, im Folgenden zusammengestellt. Die letzteren Eigenthümlichkeiten sind von mir in 158 Gesteins- und Mineralschliffen[2] zu erforschen versucht worden.

#### 1. Sanidin.

Derselbe kommt, wie schon erwähnt, in sehr grossen Krystallen, bis zu 3 cm. im Durchmesser, vor. Solche Krystalle findet man theils eingewachsen im Gestein, theils lose an fast allen Theilen des Gebirges in grosser Anzahl. Sie bilden in der Regel rechte oder linke Karlsbader Zwillinge.

[1] Vgl. hierüber auch D'Achiardi, Mineralogia della Toscana. 1872.

[2] Die Dünnschliffe und anderen optischen Präparate habe ich in der Werkstatt von Voigt und Hochgesang zu Göttingen anfertigen lassen.

Digitized by Google

Einfache säulenförmige Krystalle sind selten. Gewöhnlich sind die Krystalle der Art angefressen und abgerundet, dass nicht viel von Krystallform mehr zu erkennen ist. An einem etwas besser erhaltenen, ein Centimeter grossen, links gebildeten Karlsbader Zwilling von Fosso Fattucchiajo habe ich die folgenden Flächen bestimmen können: $\infty P\bar{\infty}$ (010); 0P (001); $2P\bar{\infty}$ (201); $P\bar{\infty}$ ($\bar{1}01$); P ($\bar{1}11$); $\infty P$ (110); $\infty P\grave{3}$ (130); $2P\bar{\infty}$ (021). Die Krystalle sind tafelförmig nach $\infty P\bar{\infty}$ (010) entwickelt. P ($\bar{1}11$) tritt mit ziemlich grossen Flächen auf. Die Sanidine sondern sich sehr leicht nach dem Orthopinakoid zu rauhen, fettglänzenden Tafeln ab. Die Hauptspaltbarkeiten nach der Basis und dem Klinopinakoid treten etwas zurück. Diese zwei Spaltrichtungen sind wie sonst durch ihren Perlmutter- resp. Glasglanz gekennzeichnet. In verwittertem Zustande findet man Sanidin überall in den Bächen in Gestalt von solchen kleinen, nach dem Orthopinakoid abgesonderten Täfelchen.

Ich habe einen Dünnschliff nach $\infty P\bar{\infty}$ (010) machen lassen, in welchem ich die Auslöschungsrichtungen bestimmte. Eine derselben liegt im stumpfen Winkel der Axen $\grave{a}$ und $\grave{c}$ und macht mit der Klinodiagonale einen Winkel von $5^0$ für Natriumlicht. Es ist diese Auslöschungsrichtung die, welche die Lage der ersten Mittellinie in der Symmetrieebene angiebt. Ich liess in Folge dessen einige dicke Schliffe senkrecht zur ersten Mittellinie anfertigen, um den Austritt der optischen Axen näher studiren zu können. Einen in dieser Weise angefertigten ungefähr 2 mm. dicken Schliff habe ich in mehrere Theile geschnitten. Mit einem Theile veranstaltete ich einen Erhitzungsversuch. Ich beobachtete vor und nach der Erhitzung die Lage und den Winkel der optischen Axen, und bemerkte bei derselben eine beträchtliche Vergrösserung des optischen Axenwinkels. Die Axen liegen nämlich in dem klinodiagonalen Hauptschnitt[1] und zeigen geneigte Dispersion der Mittellinien. Die Dispersion der Axen ist $v > \varrho$. Vermittelst eines Viertelundulationsglimmerblättchens wurde die Dop-

[1] Beobachtungen, wie sie Weiss, l. c. p. 55 u. 66, mittheilt, dass in einzelnen Fällen die Axen senkrecht zu $\infty P\grave{\infty}$ (010) liegen, konnte ich in meinen Präparaten nicht machen.

Digitized by Google

pelbrechung als negativ bestimmt. In einem andern Theil der Platte wurde der Axenwinkel in Öl gemessen. Als Mittelwerthe der verschiedenen Messungen für Lithium-, Natrium- und Thallium-Licht ergaben sich folgende.

$2H_a = 24^0\ 15'$ für Li-Licht
$25^0\ 38'$ „ Na- „
$26^0\ 53'$ „ Tl- „

Eine chemische Analyse, welcher ich einen Sanidinkrystall von Pian della Moja unterwarf, folgt alsbald. Das Material zur Analyse stammt von einem grossen Krystall, der in einem Achatmörser zertrümmert wurde. Es wurde sorgfältig ausgelesen und nur die wasserhellen Spaltblättchen zur Analyse verwandt.

Die Analyse ergab die folgende Zusammensetzung:

| | | |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 64.20 | |
| $Al_2O_3$ | 19.18 | |
| $Fe_2O_3$ | 0.10 | |
| $FeO$ | 0.06 | |
| $CaO$ | 0.71 | |
| $MgO$ | 0.09 | |
| $K_2O$ | 13.04 | |
| $Na_2O$ | 3.07 | |
| $Li_2O$ | 0.00 | |
| $H_2O$ | 0.34 | (Glühverlust) |
| Summa = | 100.79 | |

Specifisches Gewicht bei 15° C. = 2.564

Die Analyse zeigt durch den nicht unbedeutenden Natrongehalt, dass der Sanidin eine beträchtliche Menge eines isomorph beigemengten Natronfeldspathes enthält.

Das Wasser wurde durch Glühverlustbestimmung ermittelt. Diese Methode war ohne Begehung eines grossen Fehlers anwendbar, weil die als Oxydul vorhandene Eisenmenge sehr gering ist. Lithion fehlt vollständig. Auf Titan und X sowohl, wie auf Schwefelsäure, Chlor und Phosphorsäure wurde keine Rücksicht genommen.

Im Gesteinsdünnschliff besitzt der Sanidin oft sehr scharf begrenzte Ränder. Zuweilen sind sie jedoch sehr zerfetzt. Wie angefressen aussehende, auch gerundete oder abgeschmolzene Durchschnitte kommen ebenfalls vor. Nicht selten sind zertrümmerte und zerquetschte Krystalle wahrzunehmen.

Digitized by Google

Zonenstructur kommt sehr häufig vor. Die verschiedenen Zonen besitzen verschiedene Auslöschungen, und zwar ist die Auslöschungsschiefe im Innern des Durchschnitts stets beträchtlich grösser als am Rande.

Die Krystalle sind an Einschlüssen aller Art sehr reich. So kommen namentlich Glaseinschlüsse und auch solche von Gas vor; auch findet man Augitmikrolithen und kleine Biotittheilchen in reichlicher Menge als Einschlüsse im Sanidin.

Die Polarisationsfarben sind niedrig, gewöhnlich findet sich ein hellgraublau erster Ordnung bei meiner Schliffdicke. Die Schliffoberfläche ist glatt.

Recht deutlich ist die Absonderung nach dem Orthopinakoid, die nicht in gerader Linie erfolgt, und desswegen nicht mit der echten Spaltbarkeit nach der Basis oder nach dem Klinopinakoid zu verwechseln ist. Zwillinge sind häufig und deuten in der Regel auf das Karlsbader Gesetz. Die Auslöschung ist gewöhnlich, wenn nicht durch Zonenstructur gestört, ziemlich scharf.

### 2. Plagioklas.

Die Plagioklase besitzen geringe Grösse und sind desshalb nicht mit Sicherheit makroskopisch zu erkennen. Höchstens haben sie einen Durchmesser von ein bis anderhalb Millimeter. Sie charakterisiren sich durch ihre weisse Farbe, ihre Undurchsichtigkeit und ihren geringen Glanz. Zuweilen erkennt man auch mit blossem Auge oder mit Hülfe der Loupe ihren polysynthetischen Zwillingsaufbau.

Vermittelst der D. Klein'schen Flüssigkeit habe ich eine nahezu vollkommene Trennung der Plagioklase von den anderen Bestandtheilen des Gesteines erreichen können.

Zur Trennung nahm ich das Gestein von Casa Tasso bei Abbadia San Salvatore, dessen Analyse schon angegeben ist. Um die Substanz möglichst rein zu gewinnen wurde das Material bis auf 0.5 mm. Korngrösse zerschlagen. Aus 65 gr. des Pulvers bekam ich 3.08 gr. ganz reines Plagioklasmaterial auf folgende Weise: Ich stellte durch eine Westphal'sche Wage das specifische Gewicht der Flüssigkeit genau auf 2.620 ein, und fand die Plagioklase mit den noch schwereren Bestandtheilen wie Augit u. s. w. in dem niedergefallenen Theile des aufgetragenen Pulvers vor. Nachdem ich



Digitized by Google

den Bodensatz ausgewaschen und getrocknet hatte, brachte ich ihn wieder auf die Flüssigkeit, welcher ich nun ein specifisches Gewicht von 2.74 gegeben hatte. Der Theil, der auf ihr schwamm, enthielt die Plagioklase und wurde durch ein sehr ermüdendes Aussuchen von allen Unreinlichkeiten befreit. Bei dieser langwierigen Arbeit war Herr Wm. P. Bradley, Assistent am chemischen Laboratorium zu Williamstown Mass., mir sehr behülflich. Der so gewonnene Plagioklas besass in seinen einzelnen Körnchen überraschender Weise kein übereinstimmendes specifisches Gewicht, liess sich vielmehr durch die D. Klein'sche Flüssigkeit in sechs Portionen trennen, die sämmtlich verschiedene specifische Gewichte besassen.

Auf diese Weise erhielt ich folgende Mengen:

| | Fiel bei | sp. Gew. | Gr. |
|---|---|---|---|
| a. | [schwamm bei 2.583 (?)] | — | 0.0768 |
| b. | 2.583 (?) | 2.650 | 0.6933 |
| c. | 2.666 | — | 0.3045 |
| d. | 2.670 | 2.682 | 1.5220 |
| e. | 2.680 | — | 0.3665 |
| f. | 2.690 | — | 0.0390 |

Nur von der grössten Portion konnte ich eine vollständige Analyse machen; bei den anderen musste ich mich wegen Substanzmangels mit der Alkalienbestimmung begnügen. Bei diesen ist dann die Kieselsäure durch die Differenz bestimmt.

Die Analysen habe ich nach den steigenden specifischen Gewichten geordnet.

In dem ersten Falle war die angewandte Substanz nicht sehr durchsichtig, erwies sich vielmehr als etwas verwittert. Der grosse Glühverlust wird eine Folge hiervon sein. Das specifische Gewicht betrug 2.650 und war das der Hauptmenge der Substanz und keine Durchschnittszahl, weil die Fällung zwischen 2.583 (?) und 2.666 vorgenommen war.

Um diese Analyse mit der vollständigen Analyse vergleichbar zu machen, muss man, um die Kieselsäure richtig durch Differenz zu ermitteln, die Summe der übrigen Bestandtheile von 101.15 (der Summe der vollständigen Analyse) anstatt von 100.00 abziehen. Auf diese Weise berechnet sich

$$SiO_2 = 56.98\,\%.$$

Digitized by Google

Die Thonerde ist auffallend niedrig und ein Fehler bei ihrer Bestimmung könnte veranlasst haben, dass die durch Differenz bestimmte Kieselsäuremenge so hoch geworden ist. Das Analysenresultat ist das folgende:

| | |
|---|---|
| $SiO_2$ . . . . . | 55.68 (durch Differenz bestimmt) |
| $Al_2O_3$, $Fe_2O_3$ . . . . . | 26.66 |
| $CaO$ . . . . . | 10.30 |
| $MgO$ . . . . . | — |
| $K_2O$ . . . . . | 1.43 |
| $Na_2O$ . . . . . | 4.70 |
| $Li_2O$ . . . . . | Spur |
| $H_2O$ . . . . . | 1.23 (Glühverlust) |
| Summa = | 100.00 |

Specifisches Gewicht bei 15° C. = 2.650

Die nächste Analyse wurde mit nur 0.2922 gr. Substanz ausgeführt. Die Krystalle waren etwas trübe und fielen zwischen den specifischen Gewichten 2.666 und 2.670 der Flüssigkeit. Wären sie so klar gewesen, wie diejenigen Krystalle der nächsten Analyse, so würde ich sie mit letzterer vereinigt haben. Der in derselben Weise wie bei der vorgehenden Analyse berechnete Kieselsäuregehalt beträgt

$$SiO_2 = 54.15\,\%.$$

Die Analyse lieferte folgendes Resultat:

| | |
|---|---|
| $SiO_2$ . . . . . | 53.00 (durch Differenz) |
| $Al_2O_3$, $Fe_2O_3$ . . . . . | 28.05 |
| $CaO$ . . . . . | 10.57 |
| $K_2O$ . . . . . | 1.46 |
| $Na_2O$ . . . . . | 6.10 |
| $Li_2O$ . . . . . | Spur |
| $H_2O$ . . . . . | 0.82 (Glühverlust) |
| Summa = | 100.00 |

Das specifische Gewicht wurde auf Grund der Abscheidung des Pulvers mit der D. Klein'schen Flüssigkeit zu 2.668 angenommen.

Die folgende Analyse habe ich vollständig machen können, da mir 1.522 gr. Substanz zur Verfügung standen. Die Kieselsäure habe ich zwei Mal mit übereinstimmenden Resultaten bestimmt. Die Substanz war ziemlich klar und durchscheinend. Offenbar hatte sie wenig Zersetzung erlitten.



Digitized by Google

Das vorhandene Kali wurde als dem Kalifeldspath $K_2 Al_2 Si_6 O_{16}$ zugehörig angesehen und die zu ihm gehörigen aus dem Kaligehalt berechneten Mengen Kieselsäure und Thonerde von der Gesammtkieselsäure und Thonerde abgezogen. Die beiden Analysen des Plagioklases mit und ohne beigemengtem Kalifeldspath sind nebeneinander gestellt.

| | Gewogen | Umgerechnet |
|---|---|---|
| $SiO_2$ . . . . . | 55.04 | 53.56 |
| $Al_2O_3$ } . . . . . | 28.09 | 28.52 |
| $Fe_2O_3$ } | | |
| $CaO$ . . . . . | 10.65 | 11.35 |
| $MgO$ . . . . . | 0.00 | 0.00 |
| $K_2O$ . . . . . | 1.26 | 0.00 |
| $Na_2O$ . . . . . | 5.61 | 5.99 |
| $Li_2O$ . . . . . | Spur | Spur |
| $H_2O$ (Glühverl.) . . . . | 0.50 | 0.58 |
| Summa = | 101.15 | 100.00 |

Specifisches Gewicht bei 15° C. = 2.682

Diese Zahl für das specifische Gewicht ist zu hoch, weil die Substanz bei 2.670 fiel und bei 2.680 schwamm.

Zum Vergleiche gebe ich im Nachstehenden Analysen zweier Labradorite, von denen der eine eine isomorphe Mischung von

3 Ab : 4 An

der andere von

1 Ab : 1 An

ist.

| | | |
|---|---|---|
| Ab : An . . . . . | 1 : 1 | 3 : 4 |
| $SiO_2$ . . . . . | 55.55 | 53.73 |
| $Al_2O_3$ . . . . . | 28.35 | 29.58 |
| $CaO$ . . . . . | 10.36 | 11.79 |
| $Na_2O$ . . . . . | 5.74 | 4.90 |
| Summa = | 100.00 | 100.00 |
| Sp. Gew. = | 2.694 | 2.703 |

Ausserdem füge ich drei Labradorit-Analysen aus Rammelsberg's[1] Mineralchemie an.

1. Von Palma (Canar. Inseln). In Haüyn-Trachyt. v. Rath: dies. Jahrb. 1875 u. Z. d. D. G. G. XXVII. 295.
2. 15. Veltlin. Im Diorit. v. Rath: Pogg. Ann. 144. 246.

[1] Handbuch der Mineralchemie von C. F. Rammelsberg. 2. Aufl. Leipzig 1875. Analyse 1 p. 695, Analyse 2 und 3 p. 565.

Digitized by Google

3. 9. Nordisches Geschiebe. Dulk: Klöden, Beitr. z. min. Kenntn. d. Mark Brandenburg. 8. Stück.

| | 1. | 2. | 3. |
|---|---|---|---|
| $SiO_2$ . . . . . | 55.64 | 55.15 | 54.66 |
| $Al_2O_3$ . . . . . | 28.89 | 29.19 | 27.87 |
| $CaO$ . . . . . | 10.92 | 9.90 | 12.01 |
| $K_2O$ . . . . . | 0.71 | 0.80 | — |
| $Na_2O$ . . . . . | 5.09 | 5.23 | 5.46 |
| $H_2O$ . . . . . | — | 0.67 | — |
| Summa = | 101.25 | 100.90 | 100.00 |

Die letzte Analyse von Casa Tasso-Plagioklasen ist mit 0.3480 gr. Substanz ausgeführt. Dieses Material war das beste und klarste von Allen. Die wie oben berechnete Kieselsäuremenge beträgt:

$$SiO_2 = 53.87\,\%$$

Die Analyse ergab:

| | | |
|---|---|---|
| $SiO_2$ . . . . . | 52.78 | (durch Differenz) |
| $Al_2O_3$ } . . . . . | 28.28 | |
| $Fe_2O_3$ } | | |
| $CaO$ . . . . . | 10.95 | |
| $K_2O$ . . . . . | 1.18 | |
| $Na_2O$ . . . . . | 6.21 | |
| $Li_2O$ . . . . . | Spur | |
| $H_2O$ . . . . . | 0.60 | (Glühverlust) |
| Summa = | 100.00 | |

Specifisches Gewicht bei 15° C. = 2.685 (Mittel)

Das Pulver hatte ein specifisches Gewicht welches zwischen 2.680 und 2.690 lag. Weil ich zu wenig Substanz, um damit eine directe Bestimmung machen zu können, besass, habe ich die Mittelzahl 2.685 angenommen.

Bei der vollständig durchgeführten Analyse war kein Magnesium nachweisbar und in den übrigen Analysen habe ich deshalb nicht danach geprüft.

Die Analysen sprechen alle dafür, dass der Plagioklas ein Labradorit ist, der auf der Grenze zum Andesin befindlich angesehen werden muss, dem aber überdies etwas Kaliumfeldspath in trikliner Gleichgewichtslage beigemengt ist.

Bei der Abscheidung der Grundmasse des Vivogesteins mittelst der schweren Flüssigkeit konnte ich auch den im Gestein enthaltenen Plagioklas absondern. Ich kam da-

Digitized by Google

durch zu einem Feldspath, der bei einem specifischen Gewicht von 2.690 zu Boden sank. Von diesem nicht völlig reinen Material erhielt ich ungefähr 0.6 gr.

Das Wasser wurde nicht bestimmt, aber ich habe es auf etwa 1.00 % geschätzt.

Die wie oben berechnete Kieselsäuremenge ergiebt sich zu

$$SiO_2 = 49.87\ \%$$

Die Analysenresultate sind die nachstehenden

| | | |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 48.72 | (durch Differenz) |
| $Al_2O_3$ | 28.02 | |
| $Fe_2O_3$ | 3.04 | |
| $CaO$ | 12.44 | |
| $MgO$ | 1.88 | |
| $K_2O$ | 1.04 | |
| $Na_2O$ | 3.86 | |
| $Li_2O$ | Spur | |
| $H_2O$ | 1.00 | (angenommen) |
| Summa = | 100.00 | |

Specifisches Gewicht bei 15° C. = 2.695 (Mittel)

Aus dem Resultat der Analyse ist deutlich zu ersehen, dass dieser (etwas kalihaltige) Plagioklas sich dem Anorthit nähert und ein Zwischenglied zwischen Labradorit und Anorthit bildet, etwa Ab : An = 1 : 2 entsprechend. Er wird jedoch noch Labradorit genannt werden können.

Im Dünnschliff ist der Plagioklas oft sehr scharf begrenzt. Es zeigt die schönsten Zwillingslamellen und prächtige Zonenstructur. Die Krystalle sind sehr oft aus verschiedenen Individuen zusammengesetzt, die durcheinander gewachsen sind, ohne dass irgend ein bestimmtes Zwillingsgesetz erkannt werden könnte. Die Individuen sind mit Zwillingslamellen durchsetzt, die entweder auf das Albit- oder auf das Periklingesetz deuten. Es kommt oft vor, dass in einem und demselben Krystall zwei Systeme von beinahe zu einander senkrecht liegenden Lamellen zu sehen sind. Es kann mithin geschlossen werden, dass die zwei erwähnten Zwillingsgesetze zu gleicher Zeit vorhanden sind. In denjenigen Fällen, in welchen die Auslöschungsschiefen zweier nebeneinander liegender Zwillingslamellen zur Zwillingsgrenze ungefähr gleich waren, habe ich diese Winkel gemessen, um ein Urtheil über die Art des Plagioklases zu erlangen. Ich habe alle mög-

Digitized by Google

UNIVERSITY CALIFORNIA

lichen Zahlen von 2° bis 45° beobachtet, aber die meisten dieser Zahlen liegen zwischen 10° und 30° wie aus folgender kleiner Tabelle zu ersehen ist.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mit | einer | Schiefe | zwischen | 0° | und | 10° | löschen | 15% | aus |
| „ | „ | „ | „ | 10° | „ | 20° | „ | 27 | „ |
| „ | „ | „ | „ | 20° | „ | 30° | „ | 33 | „ |
| „ | „ | „ | „ | 30° | „ | 40° | „ | 22 | „ |
| „ | „ | „ | „ | 40° | „ | 45° | „ | 3 | „ |

Diese Angaben sind aus 65 Messungen berechnet.

Zonenstructur ist oft mit Zwillingsbildung zugleich zu beobachten, und dann laufen die Zwillingslamellen ungestört durch die verschiedenen Zonen hindurch. In einem Falle habe ich die Auslöschungsschiefe für den Kern und die Umhüllung gemessen, und für den inneren Theil 29° und für den äusseren Theil 14°, also eine Differenz von 15° gefunden. Die Krystalle enthalten Einschlüsse von dem augitischen Gemengtheil, Biotit, Grundmasse, auch solche von Gas u. s. w. kommen vor. Oft kommen Bläschen vor und sind in Kränzchen angeordnet, die ihrerseits mit dem Zonenaufbau abwechseln. In anderen Fällen laufen sie in gerader Linie durch den Krystall hindurch. Nicht selten bemerkt man Plagioklase, die zerbrochen sind, so wie solche, die sehr angefressen und abgerundet erscheinen.

### 3. Augitischer Gemengtheil.

#### a. Hypersthen.

In erster Linie ist hier der Hypersthen zu nennen. Er bildet kleine, höchstens 2 mm. grosse Säulen, die keine scharfen Endbegrenzungen haben. Sie zeigen an deutlichen Formen nur ∞P (110); ∞P∞ (100) und ∞P$\breve{\infty}$ (010). Zuweilen überwiegen die Prismenflächen über die Pinakoidflächen, zuweilen erreicht eine der letzteren eine bedeutendere Breite als die übrigen Flächenelemente. Die Krystalle sind braun bis olivenbraun und besitzen, wenn sie frisch sind, einen ziemlich lebhaften Glanz, besonders auf den Prismenflächen. Die zersetzteren Individuen haben eine Bronzefarbe angenommen. Sie spalten sehr unvollkommen nach dem Prisma, besser nach dem vorderen und ziemlich gut nach dem seitlichen Pinakoid. Sie aus dem Gestein selbst heraus zu prä-

Digitized by Google

pariren, ist ziemlich schwer, aber in dem Sand der verschiedenen Bäche und besonders schön in dem von Fosso del Diluvio bei Santa Fiora kommen die kleinen Krystalle mit Sanidintäfelchen und kleinen Klumpen von unzersetztem Gestein vor. Durch letzteres Vorkommen bin ich zuerst auf sie aufmerksam gemacht worden, und durch nähere Untersuchung habe ich dann constatiren können, dass die Krystalle den rhombischen Augiten zugehören.

Zunächst wurde ein Krystall auf einem grossen Goniometer rundum gemessen. Er ergab folgende Werthe:

| | Ablesungen I. | II. |
|---|---|---|
| $\infty P\bar{\infty}$ (100) : $\infty P$ (110) | = 135° 33′ | 135° 34′ |
| $\infty P$ (110) : $\infty P\breve{\infty}$ (010) | = 134° 20′ | 134° 22′ |
| $\infty P\breve{\infty}$ (010) : $\infty P$ ($\bar{1}10$) | = 134° 30′ | 134° 33′ |
| $\infty P$ ($\bar{1}10$) : $\infty P\bar{\infty}$ ($\bar{1}00$) | = 135° 32′ | 135° 33′ |
| $\infty P\bar{\infty}$ ($\bar{1}00$) : $\infty P$ ($\bar{1}\bar{1}0$) | = 135° 43′ (ca.) | 135° 45′ |
| $\infty P$ ($\bar{1}\bar{1}0$) : $\infty P\breve{\infty}$ ($0\bar{1}0$) | = 134° 22′ | 134° 22′ |
| $\infty P\breve{\infty}$ ($0\bar{1}0$) : $\infty P$ ($1\bar{1}0$) | = 134° 26′ | 134° 26′ |
| $\infty P$ ($1\bar{1}0$) : $\infty P\bar{\infty}$ (100) | = 135° 35′ | 135° 35′ |

Mittel.

$\infty P$ (110) : $\infty P\bar{\infty}$ (100) = 135° 36′
$\infty P$ (110) : $\infty P\breve{\infty}$ (010) = 134° 25′

Der Prismenwinkel $\infty P$ (110) : $\infty P$ ($1\bar{1}0$) über $\infty P\bar{\infty}$ (100) weg beträgt 91° 12′.

Die Messungen an anderen nicht so gut gebildeten Krystallen, bei denen nur die Neigungen der Prismenflächen zu einander bestimmt werden konnten, ergaben die folgenden Zahlen:

| | | |
|---|---|---|
| (1) | $\infty P$ ($1\bar{1}0$) : $\infty P$ (110) über $\infty P\bar{\infty}$ (100) | = 91° 11′ |
| (2) | „ „ „ | 91° 15′ |
| (3) | „ „ „ | 91° 15′ |
| (4) | „ „ „ | 91° 20′ |
| (5) | „ „ „ | 91° 20′ |
| (6) | „ „ „ | 91° 20′ |
| Mittel | „ „ „ | 91° 17′ |

Es gelang mir aus dem Gestein von Fosso Fattucchiajo bei Santa Fiora einige Hypersthene heraus zu präpariren. Der beste derselben wurde gemessen und ergab:

$\infty P$ (110) : $\infty P\bar{\infty}$ (100) = 135° 59′
$\infty P\bar{\infty}$ (100) : $\infty P$ ($1\bar{1}0$) = 135° 41′
$\infty P$ ($1\bar{1}0$) : $\infty P$ (110) = 91° 40′ über $\infty P\bar{\infty}$ (100)

Digitized by Google

Viele von den gemessenen Krystallen habe ich schleifen lassen, und zwar einige nach der Basis und andere nach den beiden Pinakoiden. Die Schliffe nach $\infty P\infty$ (100) zeigen im convergenten, polarisirten Licht ein vollständig zweifach symmetrisches Axenbild mit nicht sehr grossem Axenwinkel. Die optischen Axen liegen im brachydiagonalen Hauptschnitt und die erste Mittellinie geht der Brachydiagonale parallel, so dass ein Schliff, der den stumpfen Prismenwinkel abstumpft, das Axenbild um die erste Mittellinie zeigt.

Die Dispersion der Axen ist kaum wahrnehmbar, vielleicht $\varrho > v$.

Die Krystalle zeigen folgenden Pleochroismus.

Parallel a b polarisirt gelblich grün.
„ b c „ bräunlich gelb.
„ a c „ hellbraun gelb.

Zwischen den parallel a c und b c polarisirten Strahlen ist kaum ein wahrnehmbarer Unterschied zu bemerken.

Der Hypersthen ist negativ doppelbrechend.

Aus dem Sande von Fosso del Diluvio bei Santa Fiora habe ich ungefähr 0.5 gr. solcher Hypersthenkrystalle ausgesucht, um sie chemisch zu untersuchen. Die kleinen Individuen waren mit Magnetitoktaëdern vollständig überwachsen. Ich versuchte vermittelst eines Magneten die letzteren aus dem Pulver zu entfernen, bekam aber auf diesem Wege keine guten Resultate. Der an den Hypersthenen hängende Magnetit wurde deshalb zunächst mit analysirt und seine berechnete Menge danach wieder abgezogen. Diese Umrechnung habe ich in der Weise gemacht, dass ich annahm, dass alles Eisen, welches als Oxyd vorhanden war, zum Magnetit gehöre. Diese Annahme ist allerdings nicht ganz berechtigt, weil viele Hypersthene bei der Analyse Eisenoxyd ergeben, besonders diejenigen, welche auch Thonerde enthalten. Aus dem Gehalt an Eisenoxyd berechnete ich die Menge des vorhandenen Magnetits und die diesem entsprechende Menge Eisenoxydul. Letztere wurde von der Gesammtmenge des Eisenoxyduls abgezogen. Das Eisenoxyd wurde gleich 0 gesetzt und die Analyse wieder auf 100.76 berechnet. Auf diese Weise gelangte ich zu einer gewiss annähernd richtigen Kenntniss der Zusammensetzung des Hypersthens.

Digitized by Google

| | ohne Magnetit-abzug | Magnetit abgezogen |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 47.09 | 50.93 |
| $Al_2O_3$ | 4.17 | 4.51 |
| $Fe_2O_3$ | 5.21 | 0.00 |
| FeO | 25.13 | 24.61 |
| $TiO_2$ | 2.38 | 2.56 |
| X | 0.64 | 0.69 |
| CaO | 2.20 | 2.37 |
| MgO | 14.24 | 15.40 |
| MnO | Spur | Spur |
| Summa | 101.06 | 101.07 |
| Spec. Gew. bei 15° C. = | 3.497 | 3.372 |
| Magnetit | 7.55 % | 0.00 |

Die Analysen stimmen in Anbetracht der Schwierigkeit, reines Material zu bekommen, befriedigend mit der Zusammensetzung eines Hypersthens überein und jedenfalls so genügend, um zu beweisen, dass es dieses Mineral und nicht etwa Olivin ist, was vorliegt.

Zum Vergleich wolle man die folgende Analyse heranziehen.

Analyse 19 [1], Laacher See (Amblystegit), aus einer Sanidinbombe. v. Rath, Pogg. Ann. 138, 529.

| | |
|---|---|
| $SiO_2$ | 49.80 |
| $Al_2O_3$ | 5.05 |
| FeO | 25.60 |
| MgO | 17.70 |
| CaO | 0.15 |
| Summa = | 98.30 |

Nachdem ich die Hypersthene aus dem Sande von Fosso del Diluvio analysirt hatte, untersuchte ich auch die augitischen Gemengtheile aus dem Gestein selbst. Zu diesem Zwecke habe ich dasjenige Pulver des Casa Tasso-Gesteins, welches bei 3.04 sp. Gew. der schweren Flüssigkeit gesunken war, noch einmal zu trennen versucht, indem ich der Flüssigkeit das sp. Gew. von 3.43 gab. Die niedergesunkene Substanz war zwar ziemlich rein, wurde aber dennoch sorgfältig

[1] Handbuch der Mineralchemie von G. F. Rammelsberg. 2. Auflage. p. 385. Leipzig 1875.

Digitized by Google

mit einer Loupe durchsucht, um sie von fremden Bestandtheilen gänzlich zu befreien.

Bei dieser Reinigung sah ich, dass einige Körnchen dunkler als die anderen waren. Diese dunkleren Partikelchen habe ich so vollständig wie möglich, von den anderen getrennt und für sich allein analysirt, um zu sehen, ob sie vielleicht monokline Augite sein könnten. Im Dünnschliff war zwischen hellen und dunkelen Partikelchen kein Unterschied zu erkennen.

Die Analyse der Hauptmenge der augitischen Substanz ergab:

| | |
|---|---|
| $SiO_2$ | 49.24 |
| $Al_2O_3$ | 3,07 |
| $Fe_2O_3$ | 2.12 |
| $FeO$ | 27.61 |
| $TiO_2$ | Spur |
| X | 0.73 |
| $CaO$ | 2.24 |
| $MgO$ | 15.12 |
| $MnO$ | Spur |
| Summa = | 100.13 |

Spec. Gew. bei 15° C. = 3.514.

Die gesammte Menge der angewandten Substanz betrug 1.0000 gr., wobei 0.3840 nicht ganz so rein wie der übrige Theil war. Dieser letzte Theil wurde zum Zweck der Eisenoxydul-Bestimmungen verwandt. Zwei derartige Bestimmungen stimmten unter einander vollständig überein.

Die Analyse von dem dunkelen Pulver ergab folgendes Resultat:

| | |
|---|---|
| $SiO_2$ | 45.27 |
| $Al_2O_3$ | 4.09 |
| $Fe_2O_3$ | 6.36[1] |
| $FeO$ | 27.00[1] |
| $TiO_2$ | Spur |
| X | 1.18 |
| $CaO$ | 2.18 |
| $MgO$ | 13.10 |
| $MnO$ | Spur |
| Summa = | 99.18 |

[1] Das gesammte Eisen wurde als $Fe_2O_3$ bestimmt und betrug 36.36%, hiervon rechnete ich 30.00% in $FeO$ um, auf dass die Analyse mit der vorhergehenden vergleichbar werde.

Digitized by Google

Die Analyse war mit nur 0.1100 gr. Substanz ausgeführt worden; desshalb können die gefundenen Zahlenwerthe nicht sehr genau sein, sie liefern aber durch den Kalk- und Magnesia-Gehalt den Beweis, dass die dunkelen Körnchen nicht aus monoklinem Augit, sondern aus Hypersthen bestehen, der überhaupt nach obigen Analysen als der augitische Gemengtheil der Amiatagesteine anzusehen ist.

Was den Hypersthen in den Gesteinsdünnschliffen anlangt, so ist in erster Linie zu bemerken, dass er schwachen Pleochroismus zeigt. Charakteristisch sind ferner die in den weitaus meisten Fällen orientirte Auslöschung zur Längserstreckung der Durchschnitte, die Spaltrisse nach dem Brachypinakoid und die unvollkommenen Spaltspuren nach den zwei, beinahe senkrecht aufeinander stehenden Prismenflächen. Die Schliffoberfläche ist wegen des hohen Brechungsvermögens rauh. Die Polarisationsfarben sind nicht sehr hoch und liegen meist in der Nähe des Gelb I. Ordnung.

Bisweilen zeigen die Krystalle einen dunklen Rand. Sie enthalten viele Einschlüsse, so kommen Mikrolithe, Glaseinschlüsse, Biotit, Magnetit u. s. w. vor.

### b. Monokliner Augit.

Ob neben dem Hypersthen auch hie und da monokliner Augit vorkommt ist fraglich, da beide in der Ausbildungsweise, Spaltbarkeit, Farbe und Pleochroismus nicht gut im Dünnschliff von einander zu unterscheiden sind[1], vielmehr in beliebigen Schliffen leicht mit einander verwechselt werden können.

Der aus dem Gesteine abgesonderte augitische Gemengtheil erwies sich, wie oben bemerkt, nach Zusammensetzung und sonstigen Eigenschaften als Hypersthen.

### 4. Biotit.

Der Biotit kommt besonders schön in dem glasigen Gestein am Rande des Amiataberges in sechseckigen Täfelchen vor. Dieselben haben eine beinahe schwarze Farbe. Auch

[1] Über eine in einzelnen Fällen und Vorkommen vorzunehmende Unterscheidung vergl. R. Küch. Petrographische Mittheilungen aus den südamerik. Anden. Dies. Jahrb. 1886. I. 35 ff.

Digitized by Google

in sehr dünnen Spaltblättchen sind sie kaum durchsichtig. Die Krystalle besitzen an Flächen gewöhnlich nur 0P (001); $\infty P\bar{\infty}$ (010) und P ($\bar{1}11$). Sehr oft erscheinen sie wie angefressen, so dass zum Beispiel in der Mitte des Krystalls Grundmasse oder sonstige Gesteinsgemengtheile eingeschlossen erscheinen und nur der Rand mit seinen Krystallformen übrig bleibt. Es ist mir gelungen, von einigen der sehr spröden Biotittäfelchen, welche noch ihre äussere Begrenzung besassen, Spaltblättchen, die wenigstens am Rande durchsichtig waren, zu erhalten. Diese zeigten durch die Lage der optischen Axenebene, dass ohne Zweifel sowohl Anomit, als Biotit im engeren Sinne in dem Gestein vorkommen. Der Axenwinkel ist sehr schwankend, bald fast Null, bald ziemlich gross. In beiden Arten von Glimmer fand ich $\varrho < v$, und den Charakter der Doppelbrechung negativ.

Im Gesteinsdünnschliff zeigt der Biotit in zur Spaltrichtung stark geneigten Durchschnitten kräftigen Pleochroismus. Die Farbentöne sind dunkel grün oder rothbraun (letzteres wenn zersetzte Individuen vorliegen), wenn die Spaltrisse senkrecht zur Polarisationsebene des unteren Nicols liegen und hellgelb grün oder gelblich braun, wenn sie damit parallel laufen. Ein nach der Basis getroffener Krystall bleibt bei gekreuzten Nicols bei voller Tischdrehung ziemlich dunkel, weil der Axenwinkel meist sehr klein ist. Oft sind die Durchschnitte stark gebogen, so dass die Auslöschung wie eine Welle über sie hinläuft, auch zerbrochene und an den Enden zerfaserte Krystalle sind häufig. Die Biotitblättchen enthalten wenige, kleine Einschlüsse, als solche kommen Augitmikrolithen vor.

Oft sind, wohl in Folge von Zersetzungsvorgängen, die Biotitdurchschnitte roth gefärbt. Sie lassen dann nicht so deutlich wie sonst die Spaltrisse erkennen.

### 5. Magnetit.

Das Magneteisen erscheint in Oktaëdern. Dieselben kommen am häufigsten mit Hypersthen zusammen vor, und sind dann mit demselben derart orientirt verwachsen, dass eine Oktaëderfläche O (111), nach welcher der Krystall gewöhnlich tafelförmig gebildet ist, mit der Fläche des Hy-

Digitized by Google

persthens, auf welcher er aufsitzt, parallel geht. Es ist dies an herauspräparirten Hypersthenkrystallen sehr deutlich mit einer Loupe zu erkennen.

Im Dünnschliff lässt der Magnetit sich durch eine rauhe Oberfläche, Undurchsichtigkeit und blauschwarze Farbe mit Metallglanz im auffallenden Licht leicht erkennen.

### 6. Pyrit.

Der Schwefelkies kommt in einzelnen Fällen in etwas erheblicherer Menge vor[1], zum Beispiel in den Handstücken von Fosso del Prato bei Abbadia San Salvatore, wo er sich in dünnen Blättchen gleichsam auf die anderen Bestandtheile des Gesteins aufgeklebt, vorfindet. Aus diesem Gestein habe ich ihn, wie schon beschrieben ist (p. 410), abgeschieden, gewogen und analysirt. Die Analyse ergab folgendes Resultat.

Angewandte Substanz = 0.0277 gr.

| | | Berechnet | Gefunden |
|---|---|---|---|
| Fe (als $Fe_2O_3$ | gewogen) | 46.67 | 48.78 |
| $S_2$ (als $BaSO_4$ | „ ) | 53.33 | 46.95 |
| | Summa = | 100.00 | 95.73 |

Der Verlust von ca. 4 % ist wohl auf den Umstand zurückzuführen, dass die Menge der angewandten Substanz zur genauen Analyse zu gering war, vielleicht auch zum Theil darauf, dass das Bariumsulfat, welches zur Schwefelbestimmung im Gang der Analyse erhalten wurde, in dem gleichzeitig vorhandenen Eisenchlorid etwas löslich ist und so etwas Schwefel verloren ging.

### 7. Apatit.

Dieses Mineral kommt in meinen Dünnschliffen nur sehr spärlich vor, am häufigsten noch in dem Gestein in der Nähe von Vivo. Es bildet farblose mikroskopische, in der Grundmasse liegende Nadeln. Es sind 0.25 mm. lange Säulchen, an beiden Enden durch Flächen abgestumpft, welche auf die Stammpyramide des Apatits hindeuten.

Die Säulen sind in der Mitte in bekannter Weise bestäubt und wie gewöhnlich in eruptiven Gesteinen querge-

[1] Von kleinen Beimengungen von Schwefelkies rührt auch wahrscheinlich die Spur $SO_3$ in den Gesteinsanalysen her, da in den Gesteinen selbst kein $SO_3$ enthaltendes Mineral gefunden wurde.

Digitized by Google

gliedert. Sie löschen orientirt aus, und vermittelst eines Gypsblättchens vom Roth I. Ordnung, lassen sie sich als optisch negativ doppelbrechend erkennen. Solche Apatite habe ich in dem glasigen Gestein des Bergrandes relativ häufig beobachtet.

Die Ausscheidungsfolge der Mineralien im Gestein ist, gestützt auf die Beobachtung ihrer Form und ihrer Einschlüsse: Magnetit und Apatit, Augitischer Gemengtheil, Plagioklas, Sanidin, Entglasungsprodukte der Basis.

### 3. Untersuchung der Grundmasse des Amiatagesteins.

Die Grundmasse in den Gesteinen von den verschiedenen Stellen des Berges zeigt erhebliche Differenzen in der Structur. Wegen der zahlreichen Übergänge der verschiedenen Arten von Grundmasse in demselben und in nahe bei einander vorkommenden Gesteinen, eignen sich diese Differenzen aber nicht zu einem Unterscheidungsmittel der Gesteine, wenngleich im Grossen und Ganzen sich eine Entwickelung von der rein glasigen Grundmasse der Randpartien zu der mikrofelsitischen, stark entglasten der Centralpartien zu erkennen gibt. — Folgende Betrachtung lässt dies erkennen:

1. In denjenigen Gesteinen, die am Rande des Berges liegen, ist die Grundmasse beinahe ein reines Glas, das sich in fast kugelförmige Theilchen abgesondert hat. Diese kleinen rundlichen Körner sind unregelmässig begrenzt und erreichen zuweilen einen Durchmesser von 10—12 mm.

a. In der Nähe von Vivo kommen sehr helle, kieselsäurereiche Kugeln von Grundmasse vor. Sie enthalten spärlich Mikrolithen, welche sich zu stern- und rosettenförmigen Gebilden vereinigt haben. Auch im Gestein bei Santa Fiora in den Cantoni dei Pressi ist dieses besonders schön zu beobachten. Diese Mikrolithen scheinen kleine, durchsichtige monokline Augite zu sein. Wenigstens zeigen sie entsprechende Krystallformen. Wegen ihrer Kleinheit (sie sind höchstens $^1/_{10}$ mm. lang und sehr schmal) ist es sehr schwierig, eine genaue Bestimmung auszuführen. Ein Mikrolith in einem Schliff des Gesteins von Fosetti bei Vivo scheint die Flächen $\infty P$ (110) und P ($\bar{1}11$) zu besitzen. Eine Messung des spitzen Winkels zwischen der klinodiagonalen Pol-

Digitized by Google

kante von P ($\bar{1}11$) und der Richtung der c-Axe ergab 75°. Dieser Werth stimmt mit dem berechneten Winkel von 74° 36′ befriedigend überein. Die beträchtliche Auslöschungsschiefe der Kryställchen spricht gleichfalls für Augit.

Solche reine oder annähernd reine Gläser kommen auch von Convento in der Nähe von Bagnolo und Mormoraio bei Santa Fiora, Fondo di Poggio delle Forge, Marzarelle, Nocchetto, Ferriera, Macchia del' Conte und Fosso la Vella bei Castel del Piano vor. Auch erscheinen sie oberhalb Ermeta bei Abbadia San Salvatore und auch bei Il Poderino, unfern Pian Castagnajo. Alle diese Localitäten liegen am Rande des Berges, wo die Grundmasse der Gesteine den sauersten Charakter besitzt. Die Mikrolithen in einzelnen dieser letztgenannten Gesteine haben nicht nur die erwähnte Sternchenform, sondern kommen auch als einzelne regellos durch die Grundmasse versprengte Krystalle vor. Diese ordnen sich zuweilen nach ihrer Längsrichtung zu einer Art von Fluidalstructur an. Andeutungen von Mikrofelsit sind neben dem vorherrschenden Glase spärlich vorhanden.

Die Glaskügelchen der erwähnten Gesteine lassen sich leicht durch ihr specifisches Gewicht von den übrigen Bestandtheilen trennen. Ich habe zuerst diejenigen, die in dem Sande von Fosso del Diluvio vorkommen, ausgesucht und analysirt. Es waren kleine rundlich begrenzte Gebilde von schwach grünlicher Farbe. Im Dünnschliff ergaben sie gar keine Wirkung auf das polarisirte Licht. Von diesem Material sonderte ich 2.7 gr. aus und machte hiervon die folgende vollständige chemische Analyse.

| | | |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 73.57 | |
| $Al_2O_3$ | 13.80 | |
| $Fe_2O_3$ | 0.00 | |
| $FeO$ | 1.54 | |
| $CaO$ | 0.99 | |
| $MgO$ | 0.26 | |
| $K_2O$ | 5.74 | |
| $Na_2O$ | 3.09 | |
| $Li_2O$ | Spur | |
| $H_2O$ | 1.08 | (Glühverlust) |
| Summa = | 100.07 | |

Specifisches Gewicht bei 15° C. = 2.346

Digitized by Google

Das Pulver schmilzt schwer zu einem weissen, der ursprünglichen Substanz ähnlichen Glase.

Von der Grundmasse aus dem Gestein von Molino bei Vivo habe ich eine Kieselsäurebestimmung gemacht, welche ergab:

$$SiO_2 = 74.76\,\%$$

Specifisches Gewicht bei 15° C. = 2.357. Diese Grundmasse sah der aus dem Sande gewonnenen sehr ähnlich und hatte auch sonst dieselben Eigenschaften wie diese.

b. Makroskopisch vollständig schwarz aussehende Grundmassen von Il Poderino und Casa la Fornacina (bei Pian Castagnajo); oberhalb Casa del Fallani (bei Abbadia San Salvatore), Fosetti (bei Vivo) und Sotto le Mura und Marzarelle (bei Castel del Piano) erweisen sich unter dem Mikroskop in der Hauptsache als Gläser, die mit schwarzen Punkten u. s. w. erfüllt sind. Diese schwarzen Dinge bestehen aus Trichiten und Globuliten, die theilweise in der schönsten Fluidalstructur, theilweise unregelmässig angeordnet sind. Die Trichiten sind gekörnt, zu korkzieherförmigen Gebilden gekrümmt und in allen möglichen Weisen gedreht. Sie sind schwarz und undurchsichtig bis weiss und durchsichtig und wirken nicht auf polarisirtes Licht. Die Globuliten sind kleine, dunkle Kügelchen, die zum Theil zu Ketten, Margariten und zu Cumuliten vereinigt sind.

Neben dem Glase kommt in wechselnder Menge ein brauner, gekörnter Mikrofelsit mit schöner Fluidalstructur und Einlagerungen, wie sie das Glas zeigt, vor.

Eine Analyse dieser Grundmasse von Casa la Fornacina ergab:

| | | |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 70.21 | |
| $Al_2O_3$ | 14.02 | |
| $Fe_2O_3$ | 1.48 | |
| $FeO$ | 0.48 | |
| $TiO_2$ | 0.21 | |
| X | 0.36 | |
| $CaO$ | 1.74 | |
| $MgO$ | 0.56 | |
| $MnO$ | Spur | |
| $K_2O$ | 6.20 | |
| $Na_2O$ | 2.16 | |
| $Li_2O$ | 0.25 | |
| $H_2O$ | 2.98 | (Glühverlust) |
| Summa = | 100.65 | |

Specifisches Gewicht bei 15° C. = 2.400.



Digitized by Google

Das Pulver hat eine dunkelgraue Farbe, wenn es nicht zu fein ist und besitzt eine gewisse Ähnlichkeit mit vulkanischen Aschen.

Beim Glühen des Pulvers verliert es seine graue Farbe, dieselbe geht dann in eine rothe über [1].

2. Weiter zu erwähnen ist hier eine Grundmasse, welche aus Glas besteht, aber eine unzählige Menge von Mikrolithen und andern Entglasungsprodukten enthält. Die kugelige Absonderung ist immer noch wahrzunehmen, tritt aber nicht so deutlich hervor, wie in den früher beschriebenen Varietäten. Unter gekreuzten Nicols bleibt diese Masse scheinbar dunkel, aber wenn man ein Gypsblättchen anwendet, kommen kleine optische Differenzen zum Vorschein. In letzterer Hinsicht zeichnen sich in der Grundmasse gewisse dunklere, mit Entglasungsproducten erfüllte Stellen aus, die auch wohl durch Zersetzungsproducte etwas randlich gefärbt erscheinen. Solche Grundmasse kommt vor in Handstücken von Mormoraio, Convento und Fosso Fattucchiajo bei Santa Fiora, Sotto le Mura, Marzarelle, Piaggia della Farfalaja, Sasso degli Stabiati, Convento del Pino, Santa Lucia, Podere Mandriola, bei Castel del Piano; Sorgenti di Capo vetri, Casenuove, Podere Porcareccia bei Vivo; am Weg über Fosso del Prato und Casa Tasso bei Abbadia San Salvatore und Podere San Lorenzo bei Pian Castagnajo.

Die Grundmasse aus dem Gestein von Casa Tasso habe ich getrennt und analysirt. Die getrennte Masse war ein Gemisch von weissen und rothen Körnchen von ungefähr $\frac{1}{2}$ mm. im Durchmesser. Diese zweierlei gefärbten Körner habe ich sorgfältigst ausgesucht und von einander getrennt, so dass ich 1.5 gr. der rothen und 1.35 gr. der weissen Varietät zu besonderen Analysen hatte.

Die Analyse der gesammten Grundmasse, welche also rothe und weisse Körner enthielt, ergab:

---

[1] Vergleiche die Bauschanalyse des Gesteines von demselben Fundort. Analyse 5 p. 410.

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| $SiO_2$ | 70.24 |
| $Al_2O_3$ | 14.07 |
| $Fe_2O_3$ | 1.70 |
| $FeO$ | 0.73 |
| $TiO_2$ | 0.08 |
| X | 0.22 |
| $CaO$ | 2.34 |
| $MgO$ | 0.69 |
| $MnO$ | Spur |
| $K_2O$ | 5.75 |
| $Na_2O$ | 2.32 |
| $Li_2O$ | 0.26 |
| $H_2O$ | 2.22 (Glühverlust) |
| Summa = | 100.62 |

Specifisches Gewicht bei 15° C. = 2.459

Ausserdem fiel 0.97 % einer Erde, wenn das Filtrat von X mit KHO neutralisirt wurde. Es könnte vielleicht Zirkonerde sein.

Behandelt man das gesammte Grundmassenpulver mit Flusssäure und Schwefelsäure, so lösen sich zuerst die weissen Partikel auf, während die rothen einige Zeit ungelöst herumschwimmen.

Die getrennten rothen und weissen Körnchen gaben die folgenden Zahlen:

| | Roth | Weiss |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 70.79 | 69.48 |
| $Al_2O_3$ | 13.95 | 13.70 |
| $Fe_2O_3$ | 1.04 | 1.06 |
| $FeO$ | 1.12 | 0.53 |
| $TiO_2$ | 0.00 | 1.04 |
| X | 0.49 | |
| $CaO$ | 1.55 | 1.82 |
| $MgO$ | 0.59 | 0.77 |
| $K_2O$ | 5.92 | 5.58 |
| $Na_2O$ | 2.85 | 3.03 |
| $Li_2O$ | Spur | Spur |
| $H_2O$ | 1.71 (Glühverl.) | 2.44 (Glühverl.) |
| Summa = | 100.01 | 99.45 |
| Spec. Gew. bei 15° C. = | 2.504 | 2.437 |

Diese Analysen zeigen zunächst keinen Unterschied im Eisenoxydgehalt, den man nach den Farbendifferenzen der Körner erwarten sollte, und ergeben nahezu die völlige Identität der beiden verschieden gefärbten Arten von Grundmasse.



Digitized by Google

3. Ferner habe ich Arten von Grundmasse zu erwähnen, die noch mehr mit Mikrolithen erfüllt sind, als die soeben beschriebenen. Sie zeigen zu gleicher Zeit eine Tendenz zu mikrofelsitischer Bildung. Die einzelnen Bestandtheile, die in der Grundmasse sich finden, sind nämlich nicht ganz deutlich zu erkennen, sondern sehen aus, als ob ein Schleier darüber gebreitet wäre. Grundmasse dieser Art kommt mehr in den centralen Partien des Berges vor und findet sich in Handstücken von folgenden Fundorten: Poggio Biello und La Faggia bei Santa Fiora; Fonte Sambuca und Corso della Macchia bei Vivo; oberhalb Casa del Fallani, Felsen oberhalb Podere Rocchettino und Fosso del Prato (im Gestein, welches den Schwefelkies enthält), bei Abbadia San Salvatore. Felsen bei Crocifisso in der Nähe von Pian Castagnajo; Pian di Bello, Santa Lucia und Colle Vergari bei Castel del Piano. Das Gestein von La Crocina, dem Gipfel des Monte Amiata, zeigt auch Andeutungen einer solchen Structur, scheint aber mehr zu der Abtheilung der Gesteine zu gehören, in deren Grundmasse die zahlreichen Mikrolithen (No. 2) vorkommen.

4. Am Poggio Pinzi, Poggio della Montagnola, Poggio Belliaria und Poggio Traburzolo kommen sehr zersetzte Gesteine vor, deren Grundmassen ihre glasige Beschaffenheit beinahe verloren haben. Hier geht sowohl von einzelnen Mineralien, als auch von Hohlräumen ein starker Zersetzungsvorgang aus, welcher sich durch gelbe oder rothe Farben kenntlich macht.

In einzelnen Fällen kommen sphärolithische Bildungen in der Grundmasse vor. Solche Sphärolithen sind in den Gesteinen von Fosso del Diluvio bei Santa Fiora, Corso della Macchia und Podere Porcareccia bei Vivo und Convento del Pino bei Castel del Piano zu finden. Auch im Gesteine von Poggio della Montagnola kommt eine Art sphärischer Structur vor, indem die in der Grundmasse befindlichen kleinen, schwarzen Punkte und Stäbe in radialer Anordnung sich vorfinden. Sie haben sich entweder um einen Punkt herum oder um die Ecken eines Krystalles gruppirt. Eine ähnliche Anordnung bemerkt man um einzelne Magnetitkrystalle herum in dem Gestein von Corso della Macchia bei Vivo.

Digitized by Google

Die sämmtlichen Gesteine zeigen also vom Rande her nach der Mitte zu eine Zunahme der krystallinen Bildungen in der Grundmasse. (Vergl. auch unter Abschnitt IV.)

Dieselbe wird aber in keinem der untersuchten Vorkommen völlig holokrystallin, da ja alle diese Vorkommen an der Oberfläche des ganzen Massivs liegen.

Mit Rücksicht auf die Differenzen, die sich am Rande des Bergs und in der Mitte desselben zeigen, ist zu erwarten, dass in dessen zur Zeit nicht erschlossenem Innern die Structur holokrystallin sein oder sich diesem Zustande nähern werde.

#### 4. Die Structur der Gesteine in mikroskopischer Hinsicht.

Über die Structur der Gesteine, wie sie sich im Dünnschliff offenbart, habe ich Folgendes zu sagen. In allen Gesteinsarten kommen die in der Grundmasse vorhandenen Einsprenglinge nicht gleichmässig in ihr vertheilt vor, sondern treten entweder in ihr einzeln in Form scharf gebildeter Individuen auf[1] oder sind zu Knäueln und kleinen Gruppen vereinigt, die ihrerseits von einander durch glasige Grundmasse oder Mikrofelsit getrennt sind. Diese Krystallknäuel bestehen in allen Gesteinen aus Sanidin, Plagioklas, Hypersthen (Augit) und Biotit, die sich ohne bestimmte Gesetzmässigkeit und fast immer ohne Zwischenräume oder zwischengeschobene Grundmasse unmittelbar an einander gelagert haben.

In Bezug auf die glasige Grundmasse ist ihre kugelige Absonderung hervorzuheben, die man auch im Dünnschliff immer recht schön erkennt. Der Mikrofelsit zeigt die weiter oben (pag. 436) geschilderten Eigenthümlichkeiten.

#### 5. Zersetzungsproducte des Amiatagesteines.

##### 1. Perlsinter.

Der Perlsinter, oder wie er auch genannt wird, Fiorit oder Hyalit, kommt als weisser, durchsichtiger bis undurchsichtiger Überzug in Hohlräumen in dem Eruptivgestein vor. Ihn habe ich auch in einzelnen Fällen gefunden. Wegen seiner wohlbekannten Eigenschaften verzichte ich auf eine Beschreibung desselben.

[1] Dieses ist besonders in den Gesteinen des Centraltheils des Berges bemerkbar.

Digitized by Google

**2. Quarz als Secundärbildung in Hohlräumen des Trachyts.**

Der Quarz kommt in dicken Klumpen vor, die ohne irgend eine Spur von äusserlichen Krystallformen zu zeigen, innerlich krystalline Structur aufweisen. Er ist durchsichtig bis halbdurchsichtig und besitzt eine schwachgelbe oder schwachblaue Farbe.

Ein solches Stück bekam Herr Prof. KLEIN von Herrn Prof. CAPELLINI in Bologna, welcher meinte, dass es ein Stück weissen Obsidians sei. Prof. CAPELLINI hatte die Ansicht, dass die glasige Grundmasse des Amiatagesteins zum Theil aus solchem „Obsidian" bestehe.

Das Stück war gelblichweiss und ziemlich durchsichtig, besass eine knollige Oberfläche und muscheligen Bruch. Die Substanz war spröde und hatte eine Härte von 6.5 bis 7.0.

Eine Analyse ergab mir:

| | | |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | . . . . . | 99.35 |
| $Al_2O_3$ | . . . . . | 0.14 |
| $Fe_2O_3$ | . . . . . | 0.14 |
| $CaO$ | . . . . . | 0.05 |
| $MgO$ | . . . . . | 0.00 |
| $K_2O$ | . . . . . | 0.00 |
| $Na_2O$ | . . . . . | 0.07 |
| $Li_2O$ | . . . . . | Spur |
| $H_2O$ | . . . . . | 0.22 (Glühverlust) |
| | Summa = | 99.97 |

Specifisches Gewicht bei 15° C. = 2.641

In Dünnschliffen zeigt die in Rede stehende Substanz eine glatte Schliffläche, kräftige Polarisationsfarben und distincte Auslöschungen.

Im convergenten Lichte ergab sich ein einaxiges Axenbild und positiver Charakter der Doppelbrechung. Es unterliegt danach keinem Zweifel, dass die vorliegende Substanz Quarz ist.

Ausser diesem Stück habe ich von Santa Fiora ein kleines, höchstens 1 cm. grosses tropfenförmiges Stück einer offenbar gleichen Substanz und Bildung mitgebracht. Dieselbe ist dort unter dem Namen „Lacrime di Santa Fiora" bekannt. Das Stück hat einen bläulichen Schimmer und war nicht so durchsichtig wie das soeben beschriebene. Die Oberfläche und der

Digitized by Google

Bruch stimmen völlig in ihrer Beschaffenheit mit denen des ersteren überein.

Eine specifische Gewichtsbestimmung ergab:

Sp. Gew. bei 15° C. = 2.650.

Dem Versuch, die optischen Eigenschaften der Substanz zu erforschen, trat der Umstand erschwerend in den Weg, dass ebenfalls das Stück durchaus keine Krystallflächen besass. Ich habe deshalb in drei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen Schliffe anfertigen lassen. Alle diese zeigten ein excentrisches Axenbild. In einem Schliff, welcher die Kante zwischen zwei von den zuerst gefertigten Flächen gerade abstumpfte, habe ich sodann ein centrisches einaxiges Interferenzbild zu Gesicht bekommen.

Der Charakter der Doppelbrechung war positiv.

Beim Drehen des oberen Nicols zeigte das Präparat eine schwache Andeutung von Circularpolarisation, indem die Mitte des Interferenzbildes bei diesem Verfahren ihre Farbe wechselte.

In einem 2 mm. dicken, nach dieser letzteren Richtung gefertigten Präparat war die Circularpolarisation sehr deutlich zu sehen und die Substanz erwies sich als rechts drehender Quarz.

So sind die beiden untersuchten Exemplare in Anbetracht ihres oben erwähnten Verhaltens deutlich als Quarz erkannt. Und zwar ist derselbe aus dem Gestein durch Zersetzungsvorgänge entstanden, wie schon Santi erkannte.

## IV. Structur und Classification der Amiatagesteine.

Die Gesteine des Berges sind in zwei Hauptgruppen zu scheiden, nämlich:

I. Die mit reinglasiger oder annähernd reinglasiger Grundmasse und kleinen Einsprenglingen.

II. Die mit glasig-mikrofelsitischer Grundmasse und grösseren Einsprenglingen.

I. Zu der ersten Abtheilung gehören diejenigen Gesteine, welche am Rande des Berges liegen.

In dieser Abtheilung lassen sich zwei Gruppen deutlich von einander trennen:

Digitized by Google

a. Die hellen, granitähnlichen Gesteine, von welchen das von Vivo der Typus ist, repräsentiren die erste Gruppe. Solche Gesteine sind feinkörnig und bestehen aus kugeligen Glaspartikelchen, viel Sanidin, Plagioklas, Hypersthen (Augit) und Biotit. Diese Bestandtheile haben auf Grund einer mit D. KLEIN'scher Lösung ausgeführten Trennung ungefähr folgendes Mengenverhältniss[1].

| | | Sp. Gew. | Procent |
|---|---|---|---|
| Grundmasse | schwamm bei | 2.52 | 60.0 |
| Sanidin | fiel „ | 2.52 | 26.0 |
| Plagioklas | „ „ | 2.62 | 8.0 |
| Hypersthen etc. | „ „ | 2.74 | 6.0 |
| | | Summa = | 100.00 |

Die Hauptfundorte, wo man gute Handstücke dieser Gesteine schlagen kann, sind die folgenden:

Macchia del Conte, Molino, Lo Caselle, Podere Porcareccia und Fosetti bei Vivo; Fosso del Prato und Podere San Antonio bei Abbadia San Salvatore; Il Poderino bei Pian Castagnajo; der kurze Weg von Abbadia San Salvatore nach Santa Fiora; Cantoni dei Pressi bei Santa Fiora; Nocchetto, Sotto le Mura, La Marrona, Piombado und Ferriera bei Castel del Piano u. a. O. am Rande des Berges.

b. Die zweite Gruppe der ersten grossen Abtheilung bilden die schwarzen Gesteine, welche am besten im Vorkommen bei Il Poderino und Casa la Fornacina zu studiren sind.

Die Grundmasse derselben gehört ausschliesslich zu der schwarzen Varietät, welche auf p. 433 beschrieben ist. Sanidin kommt vor, spielt indess lange nicht eine so grosse Rolle, wie in den Gesteinen der ersten Gruppe. Plagioklas erscheint jedoch in grösseren Quantitäten als in diesen. Hypersthen (Augit) und Biotit sind gleichfalls ziemlich reichlich vorhanden.

[1] Diese und die folgenden Zahlen sind selbstverständlich nur annähernd richtig, weil bei der angewandten Methode die einzelnen Gemengtheile nicht vollständig von einander getrennt werden können. Denn in Folge der verschiedenen Grade der Leichtigkeit, mit welcher die einzelnen Gemengtheile sich zerkleinern lassen, wird einer feiner als die anderen gepulvert. Eine vollkommene Trennung setzt aber ungefähr gleiche Korngrösse der Componenten des Pulvers voraus. Die zu sehr feinem Pulver zerriebenen Gemengtheile trennen sich nur äusserst schwierig vollständig von einander.

Digitized by Google

Eine Trennung, wie sie bei dem Vivogestein ausgeführt wurde, ergab:

| | | | Sp. Gew. | Procent |
|---|---|---|---|---|
| Grundmasse | schwamm | bei | 2.52 | 69.0 |
| Sanidin | fiel | „ | 2.52 | 13.5 |
| Plagioklas | „ | „ | 2.62 | 10.0 |
| Hypersthen etc. | „ | „ | 2.74 | 7.5 |
| | | | Summa = | 100.0 |

Dieses Gestein kommt spärlich vor. Die Hauptfundorte sind Il Poderino unterhalb Pian Castagnajo und Casa la Fornacina bei Pian Castagnajo. Ausserdem sind Convento bei Bagnolo (Santa Fiora); Seragiolo zwischen Santa Fiora und Pian Castagnajo; Fosso la Vella und Marzarelle bei Castel del Piano; Fosetti bei Vivo und Fosso del Prato bei Abbadia San Salvatore zu erwähnen.

II. Die zweite grosse Abtheilung unserer Gesteine enthält diejenigen, bei denen in glasig-mikrofelsitischer Grundmasse sich grosse krystallinische Gemengtheile abgeschieden haben.

Die Grundmasse ist nicht so rein glasig wie in der vorhergehenden Gruppe, sie hat vielmehr entweder mikrofelsitische Structur, wie bei Poggio la Crocina, oder sie ist, wie bei Casa Tasso, vollständig mit Mikrolithen u. s. w. erfüllt. Die Sanidinkrystalle sind sehr gross und überwiegen in auffallender Weise die vorhandenen Plagioklase. Hypersthen und Biotit sind ziemlich reichlich vorhanden. Eine Trennung der Gemengtheile wurde bei einem hierher gehörenden Gestein von Casa Tasso durchgeführt.

| | | | Sp. Gew. | Procent |
|---|---|---|---|---|
| Grundmasse | schwamm | bei | 2.52 | 54.0 |
| Sanidin | fiel | „ | 2.52 | 26.0 |
| Plagioklas | „ | „ | 2.62 | 9.0 |
| Biotit und Hypersthen | „ | „ | 2.74 | 11.0 |
| | | | Summa = | 100.0 |

Gesteine dieser Art bilden den Haupttheil des Monte Amiata und sind überall im Centraltheil des Gebirges zu finden. Ihren Hauptrepräsentanten besitzen sie vielleicht im Gestein auf der Spitze des Poggio la Crocina. Allerdings kommt dieser Typus auch zuweilen am Rande des Berges vor, wie bei Casa Tasso, Casenuove u. s. w.

Digitized by Google

An vielen Stellen kommt dieses Gestein sehr zersetzt vor, so dass es alsdann schwer ist, ein frisches Handstück zu bekommen.

Es erhebt sich nun die Frage: Wie sind die im Obigen beschriebenen Gesteine zu benennen? Da es bei der Gesteinsbestimmung gewiss nicht allein darauf ankommt, Namen für die verschiedenen Mineralgemenge zu beschaffen, sondern vor allem darauf, genetisch Zusammengehörendes nicht zu trennen, genetisch Verschiedenes nicht zu eng zu vereinigen, so ist die richtige Beantwortung der aufgeworfenen Frage zweifellos von der höchsten Bedeutung.

Will man sich zunächst an das Urtheil älterer Autoren anlehnen, so kommt vor allem die gewichtige Stimme G. vom Rath's in Betracht, der das Gestein nicht nur in Handstücken, sondern auch an Ort und Stelle studiren konnte. Derselbe entschied sich dafür, dass zwei verschiedene Gesteine den Monte Amiata aufbauen: ein Liparit[1] (Rhyolith) und ein Trachyt, deren Grenzen zu einander zu bestimmen er, wie er sagt, nicht Zeit genug hatte.

In der That wird ein unbefangener Beurtheiler, dem ein Handstück von Vivo oder einem anderen Fundort der am Rande des Berges anstehenden, glasigen Gesteine und eins von La Crocina oder einem anderen Punkte des Centraltheiles des Gebirges zur makro- und mikroskopischen Untersuchung vorgelegt wird, unbedenklich das erstere für einen Liparit, das andere für einen Trachyt erklären, zumal wenn ihm überdies die Thatsache mitgetheilt wird, dass das erstgenannte Gestein eine saurere Grundmasse, als das andere enthält. Und dennoch erheben sich gewichtige Bedenken gegen diese Gliederung des Amiatagesteines in zwei vollständig differente Arten. Zunächst darf kein allzu grosses Gewicht auf die Differenzen der Säurungsstufen der Grundmassen der Randgesteine und derjenigen der Centralgesteine gelegt werden. Denn, wenn man die Säurungsstufen zu einem unterscheidenden Moment zwischen Liparit und Trachyt machen will, so muss nicht der Kieselsäuregehalt der Grundmasse allein, son-

[1] Seinem Beispiel folgend erwähnen auch Weiss, Zirkel, Justus Roth, Rosenbusch und Andere, sowohl Liparit, als auch Trachyt unter den Gesteinen des Monte Amiata.

Digitized by Google

dern der des Gesammtgesteines in Betracht gezogen werden[1]. In diesem Sinne sagt Justus Roth, dass zu den Lipariten alle die glasigen Formen der Sanidingesteine zu rechnen seien, deren Kieselsäuregehalt bei krystalliner Ausbildung eine Ausscheidung von Quarz bedingen würde[2]; zweifellos also alle diejenigen, deren Kieselsäuregehalt den der natronreichen Sanidine (65.89 % Kieselsäure) überschreitet.

Mit Ausnahme von zwei Gesteinen, welche beide durch Verwitterung einen höheren Kieselsäuregehalt besitzen, zeigen alle die von mir analysirten Gesteine einen, allerdings sehr nahe an der von J. Roth gezogenen Grenze stehenden, aber stets kleineren Kieselsäuregehalt. Auch die glasigen Randgesteine des Monte Amiata, welche eine so ausserordentlich saure Grundmasse besitzen, gehen mit ihrem Kieselsäuregehalt unter diese Grenze herunter. Wollte man aber dennoch in Anbetracht der immerhin beträchtlichen Gesammtkieselsäure und der sauren Grundmasse der Randgesteine dieselben im Gegensatz zu den zweifellos als Trachyt anzusprechenden Centralgesteinen des Gebirges als Liparit bezeichnen, so würde die Misslichkeit dieses Versuches doch hervortreten im Angesicht der in der That ausserordentlich überraschenden und wichtigen Thatsache, dass sämmtliche Gesteine des Gebirges eine (von ganz geringen Schwankungen abgesehen) geradezu identische Zusammensetzung besitzen, mögen sie eine saure, glasige oder eine minder saure, mikrofelsitische Grundmasse, relativ viel Sanidin und wenig Plagioklas oder auch Plagioklas in reichlicher Menge enthalten, kurzum einen im makroskopischen und mikroskopischen Ansehen noch so verschiedenen Habitus besitzen. Diese unerwartete Thatsache führt mit zwingender Gewalt zu der Meinung, dass in den Amiatagesteinen der Genese nach nur ein einziges Gestein vorliegt, das durch lokale Umstände der Erstarrung an verschiedenen Stellen zu einem, von der

[1] Die glasige Grundmasse des Amiatagesteins für sich allein betrachtet würde selbstverständlich beim weiteren Krystallisiren zur Ausscheidung von freiem Quarz Veranlassung gegeben haben, weil sie saurer ist als das sauerste Mineral, welches wir kennen.

[2] Allgemeine und chemische Geologie von Justus Roth. Bd. II. p. 213. Berlin 1885.

Digitized by Google

grossen Masse des Hauptgesteines abweichenden Habitus gelangte. Alle Abarten, die sich ein Mal wie im Vivogestein durch ausserordentlichen Gehalt an glasiger, saurer Grundmasse auszeichnen und einem Liparit sich nähern, das andere Mal, wie im Gestein von Casa la Fornacina und Il Poderino durch grösseren Plagioklasgehalt gekennzeichnet sind und Anklänge an Andesit besitzen, sind genetisch eng mit den Gesteinen des Hauptmassivs, dem typischen Trachyt, verbunden.

Je mehr Glas ein Gestein zeigt, um so mehr macht es den Eindruck als habe sich dieses durch plötzliche Erstarrung des Magmarestes zwischen die krystallinen Gemengtheile eingeschoben — ein Vorgang, wie ihn schon G. vom Rath annimmt. Je mehr das Gestein in der Grundmasse mikrofelsitisch wird, desto mehr scheint es, als haben sich die krystallinen Gemengtheile langsam aus dem Magma gebildet, das seinerseits später, aber nicht so plötzlich wie beim Glase, zur Erstarrung kam.

Nun besitzt der Monte Amiata solche Gesteine der ersten Art am Rande, solche der zweiten überall in seinen Centralpartien. Es ist deshalb anzunehmen, dass die Randgesteine rascher als die centralen erstarrten und in Folge dieses Umstandes eine liparitische Facies um das grosse Trachytmassiv herum bildeten.

Unsere Meinung, dass in den Amiatagesteinen genetisch ein grosses Ganze vorliege, das sich durch lokale Verschiedenheiten in der Art der Magmaerstarrung differenzirte, schliesst natürlich scharfe Grenzen zwischen den einzelnen Gesteinstypen aus. In der That sind nirgends solche zu beobachten.

Nach alledem nenne ich das Gestein des Monte Amiata einen Hypersthen und Labradorit führenden Trachyt, der in dem Centraltheil des Gebirge typisch entwickelt ist, an den meisten Stellen des Randes zum Liparit, an anderen Lokalitäten zum Andesit[1] hinüberneigt.

[1] Welches die Fundorte dieser Abarten sind, ersieht man leicht aus der Beschreibung S. 440 ff.

Digitized by Google

Die Richtung der Spalte, aus welcher der Ausbruch des Magmas erfolgte, ist unschwer aus dem Verlauf der Kämme und der die einzelnen Kuppen verbindenden Linie zu erkennen. Allerdings erschwert die weite Ausdehnung des Berges[1] die leichte Übersicht. An einem Modell, das ich mir aus Thon anfertigte, tritt die in Frage stehende Linie indess klar hervor. Sie verläuft von NO. nach SW. Das Gestein liegt über dieser Spalte wie ein Sattel. Die höchsten Erhebungen des Gebirges (La Crocina, Poggio della Montagnola und Poggio Pinzi) liegen auf der Sattellinie, welche ungefähr in ihrer Mitte den höchsten Punkt (La Crocina 1723 m.) erreicht. Die Spalte selbst ist natürlich durch die gewaltige Masse des Amiatagesteines überdeckt. Dort, wo sie den Rand des Eruptivgesteines durchschneidet, was natürlich sowohl im NO. als auch im SW. geschieht, weisen an beiden Stellen, von denen die eine bei Termine, die andere bei den Bagni San Filippo liegt, Schwefelwasserstoffgase auf ihre Gegenwart hin. Bei Bagni San Filippo bekunden überdies heisse Quellen ihr Vorhandensein.

Ausser einigen, nur ganz lokal vorkommenden Boccen, die wohl unter dem Einfluss von aus dem Magma entweichenden Gasen entstanden sein werden, ist im Amiatagebirge weder eine durchgreifende Kraterbildung, noch das Vorhandensein von Schlacken und Aschen irgendwo zu beobachten, es scheint, als sei das Magma als ein Brei über die unterliegende Eocänformation hingeflossen, als es aus der Spalte emporstieg. Die vulkanische Thätigkeit des Monte Amiata erlosch mit diesem einen Ausbruch.

---

[1] Seine grösste Ausdehnung von NO. nach SW. beträgt 12.0 km., seine grösste Breite zwischen Castel del Piano und Abbadia S. Salvatore 12.5 km.

Digitized by Google

## Analysen-Tabelle.

| Analysen-No. | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fundort | Vivo | Nocchetto | Piombado | Macchia del Conte | Casa la Fornacina | Fosso del Prato | Casa Tasso | Poggio Trabur-zolo | La Crocina (Weiss) | La Crocina (Roth) | Pian della Moja |
| $SiO_2$ | 65.58 | 65.69 | 65.33 | 66.33 | 65.53 | 65.31 | 65.32 | 64.76 | 66.82 | 63.15 | 64.20 |
| $Al_2O_3$ | 15.79 | 16.41 | | | 16.89 | 16.36 | 15.34 | 16.48 | | 16.29 | 19.18 |
| $Fe_2O_3$ | 0.94 | 0.73 | | | 1.00 | 0.68 | 1.22 | 0.74 | | 1.76 | 0.10 |
| $FeO$ | 2.44 | 2.74 | | | 2.38 | 1.68 | 2.18 | 2.74 | | 2.40 | 0.06 |
| $FeS_2$ | | | | | | 1.29 | | | | | |
| $TiO_2$ | 0.58 | 0.44 | | | 0.46 | 0.47 | 0.40 | 0.42 | | 0.30 | |
| X | 0.73 | 0.77 | | | 0.61 | 0.85 | 0.57 | 0.33 | | 0.47 | |
| $CaO$ | 3.08 | 3.36 | | | 3.24 | 2.85 | 2.99 | 3.24 | | 3.61 | 0.71 |
| $MgO$ | 1.47 | 1.42 | | | 1.17 | 1.06 | 1.51 | 1.74 | | 1.87 | 0.09 |
| $MnO$ | Spur | Spur | | | Spur | Spur | Spur | Spur | | Spur | |
| $K_2O$ | 5.67 | 5.24 | | | 4.59 | 5.97 | 5.70 | 5.49 | | 5.96 | 13.04 |
| $Na_2O$ | 2.58 | 2.39 | | | 2.71 | 2.78 | 2.75 | 2.67 | | 2.46 | 3.07 |
| $Li_2O$ | Spur | 0.24 | | | Spur | Spur | Spur | Spur | | Spur | 0.00 |
| $H_2O$ | 1.16 | 1.20 | | | 1.98 | 1.01 | 1.97 | 1.62 | | 2.28 | 0.34 |
| $CO_2$ | | | | | | | | | | | |
| $SO_3$ | 0.19 | 0.17 | | | 0.20 | 0.00 | 0.03 | 0.08 | | 0.11 | |
| Cl | Spur | 0.03 | | | 0.09 | Spur | 0.05 | 0.01 | | 0.11 | |
| $P_2O_5$ | Spur | Spur | | | Spur | Spur | | Spur | | Spur | |
| Summa | 100.21 | 100.83 | | | 100.85 | 100.31 | 101.03 | 100.32 | | 100.77 | 100.79 |
| Glühverlust | 1.14 | 1.23 | | | 2.00 | 1.77 | 2.09 | 1.55 | | 1.96 | 0.34 |
| Löslichkeit | | | | | | | 19.90 | | | | |
| Spec. Gew. | 2.527 | 2.581 | | | 2.540 | 2.546 | 2.552 | 2.562 | | 2.615 | 2.564 |
| Substanz | Hauptgesteine. | | | | | | | | | | Sanidin. |



Digitized by Google

## Analysen-Tabelle.

| Analysen-No. | 12. | 13. | 14. | 15. | 16. | 17. | 18. | 19. | 20. | 21. | 22. | 23. | 24. | 25. | 26. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fundort | Casa Tasso | Casa Tasso | Casa Tasso | Casa Tasso | Vivo | Fosso del Diluvio | Casa Tasso | Casa Tasso | Fosso del Deluvio | Vivo | Casa la Fornacina | Casa Tasso (Gemisch) | Casa Tasso (Roth) | Casa Tasso (Weiss) | Amiata |
| $SiO_2$ | 55.68 | 53.00 | 55.04 | 52.78 | 48.72 | 47.09 | 49.24 | 45.27 | 73.57 | 74.76 | 70.21 | 70.24 | 70.79 | 69.48 | 99.35 |
| $Al_2O_3$ | 26.66 | 28.05 | 28.09 | 28.28 | 28.02 | 4.17 | 3.07 | 4.09 | 13.80 | | 14.02 | 14.07 | 13.95 | 13.70 | 0.14 |
| $Fe_2O_3$ | Spur | Spur | Spur | Spur | 3.04 | 5.21 | 2.12 | 6.36 * | 0.00 | | 1.48 | 1.70 | 1.04 | 1.06 | 0.14 |
| FeO | | | | | | 25.13 | 27.61 | 27.00 * | 1.54 | | 0.48 | 0.73 | 1.12 | 0.53 | |
| $FeS_2$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| $TiO_2$ | | | | | | 2.38 | Spur | Spur | | | 0.21 | 0.08 | 0.00 | 1.04 | |
| X | | | | | | 0.64 | 0.73 | 1.18 | | | 0.36 | 0.22 | 0.49 | | |
| CaO | 10.30 | 10.57 | 10.65 | 10.95 | 12.44 | 2.20 | 2.24 | 2.18 | 0.99 | | 1.74 | 2.34 | 1.55 | 1.82 | 0.05 |
| MgO | | | Spur | | 1.88 | 14.24 | 15.12 | 13.10 | 0.26 | | 0.56 | 0.69 | 0.59 | 0.77 | 0.00 |
| MnO | | | | | | Spur | Spur | Spur | Spur | | Spur | Spur | Spur | Spur | 0.00 |
| $K_2O$ | 1.43 | 1.46 | 1.26 | 1.18 | 1.04 | | | | 5.74 | | 6.20 | 5.75 | 5.92 | 5.58 | 0.00 |
| $Na_2O$ | 4.70 | 6.10 | 5.61 | 6.21 | 3.86 | | | | 3.09 | | 2.16 | 2.32 | 2.85 | 3.03 | 0.07 |
| $Li_2O$ | Spur | Spur | Spur | Spur | Spur | | | | Spur | | 0.25 | 0.26 | Spur | Spur | Spur |
| $H_2O$ | 1.23 | 0.82 | 0.50 | 0.60 | (1.00) | | | | 1.08 | | 2.98 | 2.22 | 1.71 | 2.44 | 0.22 |
| $CO_2$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| $SO_3$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cl | | | | | | | | | | | | | | | |
| $P_2O_5$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Summa | 100.00 | 100.00 | 101.15 | 100.00 | 100.00 | 101.06 | 100.13 | 99.18 | 100.07 | | 100.65 | 100.62 | 100.01 | 99.45 | 99.97 |
| Glühverlust | 1.23 | 0.82 | 0.50 | 0.60 | | | | * Angenommen | 1.08 | | 2.98 | 2.22 | 1.71 | 2.44 | 0.22 |
| Löslichkeit | | | | | | | | | | | | | | | |
| Spec. Gew. | 2.650? | 2.668 | 2.675 | 2.685 | 2.695 | 3.497 | 3.514 | | 2.346 | 2.357 | 2.400 | 2.459 | 2.504 | 2.437 | 2.641 |
| Substanz | Labrador. | | | | | Hypersthen. | | | Grundmasse. | | | | | | Qua |



Digitized by Google

**Benennung der auf der Karte mit Zahlen bezeichneten Fundorte.**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Rotellini } Le buche di Nocchetto | Castel del Piano |
| 2 | San Tougi } | " |
| 3—8 | Fiume Ente (Gualchiera etc). | " |
| 9—11 | Vicino Montelaterone | — |
| 12 | Molino (Fiume Ente) | " |
| 13—14 | Piombado | " |
| 16—17, 20 | Piaggia della Farfalaja | " |
| 18—19 | Poggio la Crocina | Cima del Monte Amiata |
| 21—23 | Pian delle Macinaje, Sotto | " |
| 24—25 | Il Frate | Castel del Piano |
| 27—28 | R. Colle Vergari | " |
| 30 | Molino (Fiume Ente) | " |
| 31 | Fiume Ente | " |
| 33 | Ponte d'Arcidosso | Arcidosso |
| 34 | Termine | " |
| 35 | Principio della casa di Bagnolo | Santa Fiora |
| 36 | Vicino Bagnolo | " |
| 37—40, 41 | Fosso Fattucchiajo | " |
| 42 | Valle dell' Inferno | " |
| 43—44 | Piano della Marsigliana | Vivo |
| 45 | Macchia del Conte di Vivo | " |
| 46—47 | Ponte d'Arcidosso | Arcidosso |
| 48 | Termine | " |
| 49 | Vicino Bagnore | Santa Fiora |
| 50 | Sotto San Bastiano | " |
| 51—53 | Fiume Ente | Castel del Piano |
| 54 | Fosso (la) Vella | " |
| 55 | La Marrona | " |
| 56—57 | Vicino Pian di Bello | " |
| 58—59 | Ferriera | " |
| 60 | Dietro Poggiolungo | " |
| 61 | Fosso di Fornini | " |
| 62 | Gli Stabiati | " |
| 63 | Colle Vergari | " |
| 65—67, 71 | Nocchetto | " |
| 68 | Castel del Piano | " |
| 69—70, 74 | Sotto le Mura (di Castel del Piano) | " |
| 72 | Fondo di Poggio delle Forge (?) | " |
| 73 | Marzarelle | " |
| 75 | Sassi degli Stabiati | " |
| 76 | Podere Mandriola | fra Castel del Piano e Vivo |
| 77 | Sorgenti Capo Vetra | Vivo |
| 78 | Fonte Sambuca | " |
| 79 | Fosetti | " |
| 80 | Pian delle Mura | " |
| 81 | Sopra Vivo | " |
| 82 | Molino sotto Vivo | " |
| 83 | Podere Porcareccia | " |
| 84 | Ponte sopra fosso Ansedonia | " |
| 85 | Molino sotto Vivo | " |
| 86 | Lo Caselle | " |
| 87 | Sotto Casenuove | " |
| 88 | Casa Tasso | Abbadia San Salvatore |
| 89 | Fonte d'acqua passante | " |
| 91 | Vicino Abbadia San Salvatore | — |

Digitized by Google

| | | |
|---|---|---|
| 93 | Podere Forcoli | Bagni San Filippo |
| 93a | Bagni San Filippo | " |
| 94 | Fosso del Prato — alla strada comunale da Radicofani per Abbadia S. Salvatore | Abbadia S. Salvatore |
| 95 | Ermeta | " |
| 96—101 | Sotto Poggio la Crocina verso Abbadia S. Salvatore | " |
| 102 | Poggio la Crocina cima del Monte Amiata | Monte Amiata |
| 103 | Corno di Belliaria | " |
| 104 | Podere S. Antonio | Pian Castagnajo |
| 105—106 | Il Poderino | " |
| 107 | Sotto Pian Castagnajo | " |
| 108 | Casa la Fornacina | " |
| 109 | Sassi alti vicino Pian Castagnajo | " |
| 110 | Sopra podere Rocchettino | Abbadia S. Salvatore |
| 111 | Strada comunale sopra Fosso del Prato | " |
| 112—113 | Sopra la Casa del Fallani | " |
| 114 | Mezza via d'Abbadia S. Salvatore per Bagnolo via la strada corta | Bagnolo |
| 115 | Fosso di valle gelata | " |
| 116 | La Faggia | Santa Fiora |
| 117—118 | Fosso del Diluvio | " |
| 119 | Sotto Poggio Traburzolo | " |
| 120 | Poggio Traburzolo | " |
| 121 | Poggio della Montagnola | " |
| 122 | Poggio Biello | " |
| 123 | Pian della Moja | " |
| 123a—124 | Fosso Fattucchiajo | " |
| 125 | Sotto Santa Fiora | " |
| 126 | Principio della Casa di Bagnolo | " |
| 127 | Vicino Bagnolo | " |
| 128 | Convento (Bagnolo) | " |
| 129 | Seragiolo | Pian Castagnajo |
| 130—132 | Sasso isolato — vicino Podere di Valle Gelata | " |
| 133 | Poggio Terrajo | Santa Fiora |
| 134 | Poggio Pinzi | Poggio Pinzi |
| 135 | Poggio delle Vortolaie (?) } Poggio Pinzi | " |
| 136 | Poggio Cannone | " |



Digitized by Google

## Inhalt.

Seite

I. Beschreibung der zur petrographischen und geologischen Orientirung im Amiata-Gebirge unternommenen Touren . . . . . 381

II. Überblick über die hauptsächlichste, die Gesteine des Monte Amiata betreffende Literatur . . . . . 392

III. Mineralogisch-petrographische Untersuchungen:

1. Gesteinsuntersuchungen in chemischer Hinsicht und mit Rücksicht auf makroskopisches Verhalten . . . . . 403
2. Untersuchung der Mineralien, welche an der Zusammensetzung des Amiatagesteins sich betheiligen . . . . . 414
3. Untersuchung der Grundmasse des Amiatagesteins . . . 431
4. Die Structur der Gesteine in mikroskopischer Hinsicht . . 437
5. Zersetzungsproducte des Amiatagesteines . . . . . 437

IV. Structur und Classification der Amiatagesteine . . . . . 439

## Tafelverzeichniss.

Tafel XIII. Monte Amiata von Montelaterone aus gesehen.

„ XIV. Monte Amiata von Radicofani aus gesehen.

„ XV. Rundsicht vom Monte Amiata-Gipfel: La Crocina.

„ XVI. Karte des Monte Amiata-Gebiets mit der Grenzlinie des vulkanischen Gesteins, sowie den Fundorten der untersuchten Gesteine und meinen Routen.

Digitized by Google

# Mikroskopische Beobachtungen an californischen Gesteinen.

Von

**M. Schuster** in Wien.

Mit Taf. XVII—XX.

## I. Einleitung.

Herr E. Reyer hat im Sommer 1884 die Sierra Nevada geologisch durchforscht. Die Resultate seiner damaligen Aufnahmen wurden in diesem Jahrbuch[1] bereits veröffentlicht. Von dem auf jener Reise gesammelten Gesteinsmateriale waren eine grössere Anzahl von Dünnschliffen hergestellt worden, deren mikroskopische Untersuchung ich einer Aufforderung meines hochgeehrten Freundes entsprechend übernahm. Die mir dadurch zugetheilte Aufgabe war aus dem Grunde eine begrenzte, weil eine eventuelle ausführlichere petrographische Bearbeitung der mitgebrachten Gesteinsproben beim Aufsammeln nicht in Aussicht genommen war und petrographische Gesichtspunkte dabei schon wegen der Kürze der Zeit und der Grösse des begangenen Terrains weniger berücksichtigt werden konnten. Es lagen deshalb auch keine Fragen allgemeiner Natur vor, welche etwa durch Mithilfe des Mikroskopes hätten ihre Lösung finden sollen und es stehen somit die nachfolgenden Blätter mit den schönen und interessanten Schlussfolgerungen, welche Hr. Reyer l. c. an seine geologischen Beobachtungen im Felde geknüpft hat, in einem mehr losen und indirecten Zusammenhang.

[1] E. Reyer, Zwei Profile durch die Sierra Nevada. Mit Tafel XVII und 24 Holzschnitten (dies. Jahrb. Beil.-Bd. IV. 291—326).



Digitized by Google

Gleichwohl schien eine genauere mikroskopische Durchsicht des Materiales vollkommen gerechtfertigt und aus mehreren Gründen wünschenswerth. Zunächst schon deshalb, weil Detailaufnahmen amerikanischer Geologen bezüglich des grösseren Theiles des in Rede stehenden Gebietes gegenwärtig noch fehlen und, wie Hr. Reyer mittheilte, auch nicht unmittelbar bevorstehen. Die nachstehenden Mittheilungen dürften daher nicht nur Reyer's Angaben zur Illustration dienen, durch eingehendere Charakteristik der verschiedenen Gesteinsvarietäten, worauf sich dieselben beziehen, sondern auch jenen Forschern, welche sich mit einem detaillirteren Studium der betreffenden Gegenden zu befassen haben, nicht unwillkommen sein. Endlich ergab sich trotz der fast ausschliesslichen Beschränkung auf mikroskopische Betrachtung von Dünnschliffen bezüglich der Wechselbeziehungen gewisser Gesteinsgemengtheile zu einander doch manches Resultat von allgemeinerem Interesse, welches, wenn auch nur in bescheidenem Maasse, zur Beurtheilung gegenwärtig in Discussion stehender Fragen einen Beitrag liefert.

Um den soeben angedeuteten, verschiedenartigen, bei der Untersuchung verfolgten Zwecken auch in der Darstellung Rechnung zu tragen, wird zunächst eine Übersicht der mikroskopisch constatirten Gesteinstypen gegeben werden. Eine weitere Zusammenstellung wird darüber Aufschluss geben, wie sich die Gesteine auf die einzelnen Fundpunkte vertheilen, von denen Proben zur Untersuchung gelangten. Diese Zusammenstellung soll gleichzeitig der l. c. von Reyer gelieferten geol. Übersichtskarte, worin sich die meisten der hier zur Sprache kommenden Fundpunkte verzeichnet finden, zur Erläuterung dienen. Einige Correcturen und Ergänzungen, wie z. B. die Bemerkung, dass in dem dort als Diorit bezeichneten Gebiete neben Diorit auch Diabase eine grosse Rolle spielen, dass die Serpentin- und Gabbrozüge in der Karte als Serpentin zusammengefasst sind, ins Andesitterrain auch Basalte aufzunehmen sind, werden sich beim direkten Vergleich von selbst ergeben.

Sodann folgt die Beschreibung der einzelnen Vorkommnisse. Hier muss hie und da etwas ins Detail gegangen werden, wenn späteren Beobachtungen damit ein Vergleichsmate-

Digitized by Google

rial geboten werden soll. Es wird dabei auf manche Verhältnisse die Aufmerksamkeit gelenkt, auf manche Beziehungen hingewiesen werden, welche erst die an Ort und Stelle wiederholte Untersuchung vollends klar zu legen vermag; die vorliegenden Angaben sollen dann der gegenwärtigen Auffassung gewisser Vorkommnisse zur Rechtfertigung dienen.

In dem Schlusscapitel werden endlich diejenigen Beobachtungen und Resultate, welche mir von einiger Wichtigkeit erschienen und etwas allgemeineres Interesse darbieten, herausgehoben und zusammengefasst.

**Ia. Zusammenstellung der auf mikroskopischem Wege constatirten Gesteinstypen.**

Die beigesetzten Ziffern beziehen sich auf die Schliffnummern und zugleich auf die Anordnung im speciellen Theile.

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Mt. Schulz | Biotitgranit lediglich mit Mikroklinfeldspath |
| 2 | Mariposa | Biotitgranit |
| 3 | Bear Valley | typischer Biotitgranit |
| 4 | Yosemite Valley | Biotitgranit mit viel Plagioklas |
| 5 | Yosemite Valley | Plagioklasreiche Ausscheidung im Granit |
| 6 | Yosemite Valley | Plagioklasreiche Parthie im Granit |
| 6' | Hites Cove | Ausscheidung im Biotit-Hornblendegranit oder Quarzbiotitdiorit |
| 7 | Nevada City | zersetzter Biotitgranit |
| 8 | French Corall | Gneissgranit |
| | Calumet | rother Quarzporphyr, wegen des schlechten Erhaltungszustandes nicht näher beschrieben |
| 9 | Hamilton | Hornblendegranit (Quarzdiorit?) |
| 10 | Mariposa | Kersantit, angrenzend an plagioklasreichen Biotitgranit |
| 11 | Nevada City | Quarzdiorit, granitisch (Hornblende-Granit?) |
| 12 | Ossaville | Quarzbiotitdiorit |
| 13 | Ossaville | Turmalinausscheidung im vorigen |
| 14 | Hites Cove | Quarzreiche Ausscheidung im Diorit (wie Amphibolit) |
| 15 | Nevada City | typischer Quarzdiorit |
| 16 | Weber Lake | Quarzdiorit |
| 17 | Big-Oak-Flat | Quarzdiorit mit zweifach veränderter Hornblende |
| 18 | French Corall | Quarzdiorit mit pilitähnlicher Hornblende |
| 19 | Mooneys Flat | zersetzter Quarzdiorit |
| 20 | Hites Cove | Biotit-Quarzdiorit |
| 21 | Spencerville | Quarzdiorit mit Biotit |
| 22 | Bear Valley | (Quarz?)-Diorit |
| 23 | Bear Valley | grobkörniger Diorit |
| 24 | Bear Valley | zersetzter Diorit |

Digitized by Google

| | | |
|---|---|---|
| 25 | Horseshoe | (Gabbro?)-Diorit |
| 26 | Hamilton | Epidiorit (umgewandelter Diabas) |
| 27 | Hamilton | „ „ „ |
| 28 | Grass Valley | Epidotisirter Diorit (Tuffgestein?) |
| 29 | Coulterville | Epidotisirter feinkörniger Diorit (Tuff?) |
| 30 | Coulterville | Epidotisirter feinkörniger Diorit (Grünschiefer im Entstehen) |
| 31 | Hornitos | Hornblende- resp. Dioritporphyrit |
| 32 | Fordyce | Dioritporphyrit |
| 33 | Hamilton | Hornblendeporphyrit |
| 34 | Blue Tent | Hornblendeporphyrit, metamorphosirt |
| 35 | Blue Tent | Hornblendeporphyrit (metamorphos. Melaphyr?) |
| 36 | Hornitos | Hornblendeporphyrit |
| 37 | Coulterville | zersetzter Dioritporphyrit (Tuff?) |
| 38 | Indian Gulch | porphyroider Aktinolithschiefer (schiefrig gewordener Porphyrit?) |
| 39 | Fordyce | Glimmerdiorit |
| 40 | Hamilton | Kersantit (mit Biotit, Quarz, Hornblende, Epidot) |
| 41 | Hamilton | Diallag-Quarzkersantit |
| 42 | Blue Tent | syenitischer Diorit mit viel Augit |
| 43 | Mooneys Flat | Diabas, uralitisirt, jetzt Hornblendefels |
| 44 | Limekiln | Diabas, uralitisirt, jetzt Hornblendefels |
| 45 | Hornitos | Diabasporphyrit |
| 46 | Pino Blanco | Diabasporphyrit (mit Habitus eines Grünschiefers) |
| 47 | Pino Blanco | ähnlich dem vorigen |
| 48 | Pino Blanco | Augitporphyrit |
| 49 | Pino Blanco | Gabbro (mit Saussurit und neugebildetem Feldspath) |
| 50 | Bridgeport | Biotit-Hornblende-Gabbro |
| 51 | Horseshoe | Uralit-Gabbro mit Saussurit |
| 52 | Bodie | Pilitgabbro |
| 53 | Nevada City | saussuritischer Biotitgabbro |
| 54 | Big-Oak-Flat | saussuritischer Biotitgabbro |
| 55 | Indian Gulch | Olivingabbro |
| 56 | Birchville | Olivingabbro mit Anorthit |
| 57 | Hamilton | silificirter Porphyrit (Quarzandesit?) |
| 58 | Hornitos | Quarzandesit (Quarzporphyrit?) |
| 59 | Bodie | Quarzandesit |
| 60 | Weber Lake | Quarzhornblendeandesit |
| 61 | Weber Lake | Quarzbiotitandesit |
| 62 | Bodie | Biotitandesit |
| 63 | Bodie | Hornblendeandesit |
| 64 | Princeton | Augitandesit mit Hornblende, im Contact mit Tuff (oder Tuff im Contact mit Tuff?) |
| 65 | Bronco | Plagioklasbasalt |
| 66 | Limekiln | Halbserpentin aus Olivingabbro |
| 67 | Nevada City | Serpentin mit Olivinresten |

Digitized by Google

| | | |
|---|---|---|
| 68 | Grass Valley | Serpentin aus Gabbro |
| 69 | Pino Blanco | Serpentin mit Bastit |
| 70 | Cherokee | gelbbrauner Gabbro-Serpentin mit porphyrischem Magnesit |
| 71 | Cherokee | gelbbrauner Gabbro-Serpentin mit braunen Erzkügelchen und Magnesit |
| 72 | Nevada City | Gabbro-Serpentin mit zweierlei Erz, Korund und Magnesit |
| 73 | Washington | Magnesitausscheidung, Pikrosmin |
| 74 | Indian Gulch | Kersantit-ähnliche Ausscheidung im Gneiss |
| 75 | Mariposa | Feldspathsandstein |
| 76 | Pino Blanco | Quarzitsandstein und Quarzsandstein mit Orthoklas, Plagioklas etc. |
| 77 | Mariposa | Quarzreicher Sandstein (oder Tuff?) |
| 78 | Mariposa | dichter Sandstein (oder Tuff aus dioritischem Material) |
| 79 | Horseshoe | Tuff aus diabasischem und porphyritischem Material |
| 80 | Hornitos | Grünschiefer |

**Ib. Verzeichniss der einzelnen Fundpunkte, von denen Proben zur Untersuchung gelangten, nebst einer Übersicht der Vertheilung der Gesteinstypen auf diese Fundpunkte.**

In zweifelhaften Fällen wurde einer jener Typen, zwischen denen die Charaktere der betreffenden Probe schwanken, in Klammer angeführt und damit auf die frühere Zusammenstellung verwiesen.

Die meisten der nachstehenden Fundpunkte sind in der Reyer'schen Übersichtskarte l. c. (Beilage-Band IV) Taf. XVII beiläufig verzeichnet und von links nach rechts fortschreitend leicht zu finden; die wenigen, welche daselbst nicht enthalten sind, werden am Schlusse angeführt.

Aus dem Profil Nevada City—Reno.

| | |
|---|---|
| Mooneys Flat | Quarzdiorit 19, (Diabas) 43. |
| 2 Stunden nördlich von Limekiln | Halbserpentin 66. |
| Limekiln | (Diabas) 44. |
| Übergang von Nevada City nach Grass Valley | (Diorit) 28, Serpentin 68. |
| Bridgeport | Gabbro 50. |
| 4 Stunden westlich von Nevada City | Biotitgranit 7. |
| Flussbett 1½ Stunden westlich von Nevada City | (Quarzdiorit) 11. |
| 1 Stunde westlich von Nevada City | Gabbro 53. |
| ½ Stunde westlich von Nevada City | Serpentine 67 u. 72. |
| Nevada City | Quarzdiorit 15. |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Cherokee | Serpentine 70 u. 71. |
| Blue Tent-Cherokee | Syenit-Diorit 42, (Hornblendeporphyrit) 34 u. 35. |
| Serpentinzone von Washington | Magnesit 73. |
| Yuba Flume, westlich von Bear Valley | Biotitgranit 3, Diorite 23 u. 24. |
| Grenze der Granitzone östlich von Bear Valley | (Quarzdiorit) 22. |
| French Corall | Gneissgranit 8. |
| Westlich von French Corall | Quarzdiorit 18. |
| Fordyce | Dioritporphyrit 32, Glimmerdiorit 39. |
| Johnson Weber Lake | Quarzdiorit 16, Andesite 60 u. 61. |
| Hochsierra, Bronco | Plagioklasbasalt. |

Aus dem Profil Mariposa—Mono.

| | |
|---|---|
| Indian Gulch, Abstieg gegen Bear Creek | (Olivingabbro) 55, (Kersantitausscheidung) 74. |
| Westlich von Indian Gulch | (Porphyrit) 38. |
| Westlich von Hornitos | Dioritporphyrite 31 u. 36, (Quarzandesit) 58, Grünschiefer 80. |
| Bach östlich von Harzburg (bei Hornitos) | Dioritporphyrit 45. |
| Ostabhang des Mt. Schulz | Biotitgranit 1. |
| Kamm westlich von Mariposa | Kersantit und Biotitgranit 10, Feldspathsandstein 75, (Sandstein) 77, (Tuff) 78. |
| S. von Mariposa | Biotitgranit 2. |
| Joch zwischen Princeton und Shirlok | (Augitandesittuff) 64. |
| Horseshoe-Bend | (Gabbrodiorit) 25, Uralitgabbro 51, Tuff 79. |
| 4 km. westlich von Coulterville | (Dioritporphyrit) 37. |
| Südlich von Coulterville | (Diorite) 29 u. 30. |
| Zwischen Pino Blanco und Herbeck | Diabasporphyrite 46, 47, Augitporphyrit 48, Gabbro 49, Serpentin 69 und Sandstein 76. |
| Bonyard Big-Oak-Flat | Quarzdiorit 17, Gabbro 54. |
| SW. von Hites Cove | (siehe Diorit) 14, (siehe Granit) 6', Biotitquarzdiorit 20. |
| Hamilton | Epidiorite 26 u. 27, Kersantite 40 u. 41, (Quarzandesit) 57. |
| Crocker Hamilton | (Hornblendegranit) 9, Hornblendeporphyrit 33. |
| Yosemite Valley, Weg von El Capitan nach Crocker | Biotitgranit 4 und Plagioklasausscheidung 6. |
| N. Seite des Eingangs ins Yosemite-Thal | (siehe Granit) 5. |
| Bodie | Pilitgabbro 52, Andesite 59, 62, 63. |

Digitized by Google

UNI

Nicht in der Reyer'schen Übersichtskarte enthalten sind ausser Pine Blanco und Hamilton nur noch die folgenden Fundpunkte:

| | |
|---|---|
| Ossaville | (Quarzdiorit) 10, Quarzbiotitdiorit 12, Turmalinausscheidung 13. |
| W. von Spencerville | Biotitquarzdiorit 21. |
| Birchville | Olivingabbro 56. |

## II. Beschreibung der einzelnen Vorkommnisse.

1. Östlich von Indian Gulch, Ostabhang des Mt. Schulz. Biotitgranit mit Mikroklinfeldspath. (Granitische Schliere im Dioritzug.)

Dieser Granit ist dadurch ausgezeichnet, dass er keinen Plagioklas und soviel sich constatiren lässt, auch keinen Orthoklas, sondern nur Mikroklinfeldspath enthält, dem jedoch in diesem Falle die charakteristischen Albitbänder fehlen. Ausserdem nimmt noch viel Quarz, strohgelb bis schwarzbraun pleochroitischer Biotit und Magnetit an der Zusammensetzung Theil. Der im parallelen polarisirten Lichte durch vage keilförmig begrenzte Zwillingsstreifung charakterisirte Mikroklin ist hier von einem im auffallenden Lichte röthlichgelben Staube erfüllt, mit welchem stark licht- und doppelbrechende Kryställchen im Zusammenhange stehen, die namentlich in der Nähe der Erzpartikel häufig gefunden werden und von denen einige an Rutil in Sagenitform, andere an Zirkon erinnern, während wieder andere Partikel jenes Staubes sich als feinste Schüppchen und Flasern eines Glimmer-Minerales darstellen.

2. S. von Mariposa. Biotitgranit.

Weisse, durchsichtige Quarzkörner, getrübte, mit einem körnigen und blättrigen Staub erfüllte Feldspathe und Biotitanhäufungen charakterisiren dieses Gestein. Dazwischen finden sich zersetzte Hornblendereste, welche mit den Biotitnestern örtlich fast immer im Zusammenhange stehen. Von solchen Stellen, die zugleich mit dem Feldspathe in Berührung treten, gehen besonders häufig jene Körnchenbildungen aus, die sich hie und da als Zoisit oder Epidot erkennen lassen und im Feldspath zwischen den gleichfalls als Neubildung dort auftretenden Kaliglimmerblättchen sich verlieren und bis zur gänzlichen Unkenntlichkeit verkleinern. Der Feldspath er-

Digitized by Google

scheint in Karlsbader Zwillingen und besitzt Orthoklasnatur. In diesem Gestein treten nach Reyer porphyrische Apophysen auf, welche Habitus und Zusammensetzung eines metamorphosirten Hornblendeandesites haben und an einer späteren Stelle nochmals erwähnt werden sollen.

3. Yuba Flume, westlich von Bear Valley. Biotit-Granit (neben Diorit).

Nach Reyer stammt die Gesteinsprobe von der Grenze eines Ganges. Die eine Hälfte des Grenzgesteins besitzt dichtere Structur und lichtere Farbe und unterscheidet sich in beider Hinsicht von der durch gröbereres Korn mit porphyrisch hervortretenden Hornblendekrystallen, sowie durch dunkler grüne Farbe ausgezeichneten anderen Hälfte, welche die Zusammensetzung eines Diorites besitzt. Das dichtere Gestein hat durchaus mikrogranitisches Gefüge und erweist sich u. d. M. zum grössten Theile als ein verzahntes Gemenge von Quarz und Mikroklin mit Gitterstructur und dazwischen gepresstem und verdrücktem, halb zersetztem (theilweise gebleichtem, theilweise geschwärztem) Biotit. Ausserdem bemerkt man trübe weisse Parthien, welche zuweilen noch Krystallumrisse erkennen lassen und an hell und klar gebliebenen Stellen als oligoklasähnlicher Feldspath sich erweisen. An anderen Stellen sind dieselben gänzlich in ein Gemenge von Kaolin oder Pyrophyllit und Zoisit oder Epidot umgewandelt. Die Epidotbildung, bei dunklerer Färbung der zugehörigen Parthien (bräunlichgrau im durchfallenden, gelblichweiss im auffallenden Lichte) hat in vielen Fällen central begonnen, wobei der so erhaltene Kern des ehemaligen Krystalles dessen ursprüngliche Umrisse meist noch ziemlich deutlich errathen lässt, während die äussere Zone sich ziemlich gleichmässig in der Umgebung verliert. In andern Fällen wechseln körnige und blättrige Zersetzungsprodukte ziemlich unregelmässig ab. Zuweilen wird der Epidot etwas grösser und deutlicher. Ausserdem finden sich typischer Apatit und mitten im Quarz Zirkon in charakteristischen Krystallen. Ebensowenig fehlen mikroperthitische und mikropegmatitische Parthien darin.

Digitized by Google

**4.** Yosemite Valley, Weg von El Capitan nach Crocker. Typischer Biotitgranit mit viel Plagioklas. (Herrschender Granit Reyer's.)

Mikroklin und ein feingestreifter oligoklasähnlicher Plagioklas, Quarz für sich und in pegmatitischer Verwachsung mit dem Feldspath, endlich Biotit von grüner Farbe machen die Hauptbestandtheile des Gesteines aus, welches stellenweise die Structur eines Mikropegmatites annimmt. Im polarisirten Lichte zeigt der Orthoklas Spannungserscheinungen und gehen namentlich von den eingelagerten Biotitblättchen Lichthöfe aus. Als accessorische Gemengtheile einerseits und Zersetzungsprodukte andererseits erscheinen Zirkon und Apatit, grössere Epidotkörner und wenig Kaliglimmer in der Nähe des Epidotes.

**5.** Nordseite des Einganges ins Yosemite-Thal. (Eruptivmassen nahe der Thalsohle.)

Das vom genannten Fundorte stammende Gesteinsstück enthält reichlich Mikroklinfeldspath, welcher auch in Spaltblättchen auf seine optischen Eigenschaften geprüft wurde und hier das bekannte Verhalten zeigte. Ausserdem wurde darin auf die gleiche Weise feingestreifter oligoklasähnlicher Plagioklas mit sehr geringer Auslöschungsschiefe constatirt. Die Gesteinsprobe rührt von typischem Biotitgranit her. Der beiliegende Schliff hingegen hat die Zusammensetzung einer plagioklasreichen Ausscheidung. Orthoklas oder Mikroklin sind hier nicht nachweisbar. Der vorhandene Feldspath (Plagioklas) lässt zonales Wachsthum zuweilen deutlich erkennen. Ausser grossen Quarzkörnern finden sich Durchwachsungen von Quarz und Feldspath, ebenso Verwachsungen von einaxigem, gelb- bis grünlichschwarz pleochroitischem Biotit mit Kaliglimmer, blassgrünliche Augitkörner neben einem farblos bis gelbgrün pleochroitischen Epidotmineral und grünem Chlorit. Der Chlorit erscheint streifenweise zwischen den Spaltrissen der Biotitblättchen und steht, wie gleichfalls darin eingelagerter Epidot, mit dem Biotit offenbar im genetischen Zusammenhang. Gelbe Flecken im Schliffe rühren von verwittertem Eisenerz her.

Digitized by Google

6. Hochsierra. Eingang ins Yosemite-Thal. (Eruptivmassen der Thalsohle.) Biotitgranit (respective plagioklasreiche Ausscheidung in demselben).

In einer ähnlichen Ungewissheit wegen der Bezeichnung befindet man sich auch hier, wo basische Spaltblättchen der grösseren Feldspathindividuen, welche der beigelegten Gesteinsprobe entnommen waren, im polarisirten Lichte durchwegs das Zwillingsgitter und die Auslöschungsschiefe des Mikroklins zu erkennen gaben, während im Schliffe nichts davon zu sehen, ja nicht einmal monokliner Feldspath unzweifelhaft nachzuweisen war. Dagegen waren alle übrigen schon makroskopisch in dem Gesteinssplitter erkennbaren Bestandtheile, nämlich fein gestreifter wasserklarer Plagioklas (von oligoklasähnlichem optischen Verhalten), dunkler Biotit und Quarz (in grösseren und kleineren Körnern) auch im Schliffe enthalten. Dort zeigt der besonders reichlich vorhandene Plagioklas bei mannigfaltiger Zwillingsbildung und oft sehr feiner Streifung stellenweise zonale Structur und ein optisches Verhalten, welches auf eine zwischen Oligoklas-, Andesin- und Labradoritmischung wechselnde Zusammensetzung schliessen lässt. Das einaxige bräunliche Biotitmineral ist stark dichroitisch und zwar satt bräunlichgelb für Schwingungen senkrecht zur Basis und lauchgrün (bis schwarzgrün und schwarzbraun) parallel zu derselben. In Spalten desselben oder auch einseitig anschliessend findet sich wieder lichtgelb bis spangrün dichroitischer Chlorit. Andererseits steht auch der nur in sehr geringer Menge beobachtete, farblose Kaliglimmer hier stets mit solchem Biotit im Zusammenhang, an welchem Spuren mechanischer Umformung sichtbar sind, nach Art einer orientirten Verwachsung darin eingeschaltet. In der Regel tritt dann noch Epidot oder Titanit hinzu. Von den soeben angedeuteten Eigenthümlichkeiten in der Aggregation der genannten Gemengtheile mag Figur 1 auf Tafel XVII ein Beispiel geben. Ausser dem farblosen bis charakteristisch gelbgrünen Epidot und dem bräunlichgrauen Titanit seien noch vereinzelte Zirkone, ferner häufigere Apatitnadeln und dunkle Erzkörner als accessorische Gemengtheile erwähnt. Auffallend erscheinen in diesem Gesteine die durchaus localen, eigenthümlich körnigen, pegmatitischen Verwachsungen des Feldspathes mit Feldspath und

Digitized by Google

des Feldspathes mit Quarz, sowie zahlreiche, regelmässig eingelagerte, parallel gestellte, bald quadratisch, bald rechteckig umgrenzte, bald etwas gerundete, blättchenförmige Mikrolithe (Mikroplakite) im Plagioklas, welche sich in einzelnen günstigen Fällen selbst als Plagioklase erwiesen. Gelbe Flecken im Schliffe rühren wieder von verwittertem Eisenerz her.

6'. SW. von Hites Cove. Biotitquarzdiorit. (Aus dem Granit-Terrain.)

Der Schliff enthält alle Bestandtheile eines Quarzbiotitdiorites. Da jedoch die Gesteinsprobe, aus welcher er angefertigt wurde, aus einem Granitterrain herstammt, so könnte er auch eine plagioklasreiche Ausscheidung in einem Biotithornblendegranit repräsentiren. Orthoklas ist allerdings nicht mit Sicherheit darin zu erkennen; aller bestimmbarer Feldspath erweist sich vielmehr als Plagioklas. Derselbe liegt, vollkommen auskrystallisirt und meist mit scharfen, rechteckigen, schief rhombischen oder verzogen sechsseitigen Umrissen versehen, auf einem klaren Quarzgrunde, von welchem er sich schon makroskopisch durch weisse Trübung gut abhebt. Unter dem Mikroskope erkennt man, wie so häufig, als Ursache der letzteren den Beginn einer in der Regel vom Centrum ausgehenden Zersetzung, so zwar, dass die meisten Krystalle eine klare, wasserhelle Randzone und einen trüben aus einer Epidotkörnermasse und Kaliglimmerschüppchen zusammengesetzten Kern besitzen. Ihre Zwillingsbildung ist ziemlich complicirt; recht häufig ist neben dem gewöhnlichen auch das Carlsbader und das Periklinzwillingsgesetz zu beobachten. In Schnitten beiläufig von der Lage der Längsfläche beträgt die Auslöschungsschiefe — 17°, während die Periklinzwillingslamellen hier unter ca. — 10° auslöschen. In Schnitten parallel (100) wurden die charakteristischen Winkel mit 23° einerseits und 30° andererseits gefunden, in Schnitten der Zone (001) (100) und zugleich beiläufig senkrecht zur Verticalaxe wurden dieselben Winkel für Carlsbader Zwillinge mit 27° einerseits und 23° andererseits festgestellt. Aus allen Messungen ging hervor, dass eine zwischen Andesin und Labradorit stehende Mischung vorliegen dürfte.

Digitized by Google

Die übrigen gleichfalls im Quarze liegenden Gemengtheile, nämlich Hornblende, Biotit und etwas Chlorit erscheinen unregelmässiger begrenzt und wechselseitig derart aggregirt, dass genetische Beziehungen unter ihnen wieder höchst wahrscheinlich sind. Von Hornblende ist nicht viel vorhanden; sie erscheint in prismatischen Individuen und einfachen Zwillingen, besitzt starken Trichroismus, a = gelb, b = schwarzbraun bis schwarzgrün, c = blaugrün, ist häufig zerbrochen und mit Biotit innig verwachsen, so als ob sich dieser aus ihr herausgebildet hätte. Der dunkelgelb und dunkelbraun dichroitische Biotit findet sich aber auch selbständig vor, allerdings stets mit an den Enden ausgefransten und ausgelappten Formen; derselbe erscheint mehrfach zerspalten und dann ist Epidotsubstanz oder Titanit dazwischen eingedrungen; bisweilen endigt der Biotit förmlich in einen Epidotkrystall. Andererseits erscheint er streifenweise in Chloritsubstanz umgewandelt. Der Chlorit, über dessen durch Dynamometamorphose hervorgerufenen Ursprung man hier nicht im Zweifel bleibt, ist stark pleochroitisch (spangrün einerseits und lichtgelb andererseits) und ist stets gefältelt, bisweilen auch büschelig aggregirt.

Die oben als Zersetzungsprodukte des Feldspathes aufgeführten beiden Gemengtheile Epidot und Kaliglimmer finden sich auch in grösseren Individuen vor, der Kaliglimmer bisweilen gleich einer Zwillingslamelle zwischen zwei Zwillingsindividuen des Plagioklases eingeschaltet. Der Epidot polarisirt lebhaft und ist dabei merklich dichroitisch, und zwar in einer Stellung fast farblos, in der andern deutlich gelbgrün gefärbt; öfters sieht er hier dem Titanit täuschend ähnlich, welcher übrigens, wie gesagt, selbst nicht gänzlich fehlt. Die Zahl der Interferenzringe, sowie deren Aussehen war es namentlich, welche beide dann zu unterscheiden gestattete.

Sonst wäre noch Magnetkies zu nennen und endlich der in ziemlich grossen Individuen auftretende, alles verkittende Quarz, welcher vielfach undulöse Auslöschung zeigt und durch ziemlich gerade und mitunter mehr oder weniger parallel verlaufende Risse, die sich übrigens durch verschieden gelagerte Körner in gleicher Weise fortsetzen, die Structur eines Feldspathes, namentlich eines Orthoklases oft auffallend nachahmt.

Digitized by Google

7. Vier Stunden westlich von Nevada City. Zersetzter Biotitgranit.

Dieses Gestein enthält viel Quarz, aber, wie es scheint, in zweierlei Generationen, sodann zersetzten, kaolinisirten und epidotisirten Orthoklas, neben etwas Plagioklas, endlich Biotitreste. Die grösseren Quarzkörner sind jedenfalls alle ursprünglich; ausser ihnen aber kommen noch pegmatitische Verwachsungen mit dem Feldspathe vor und treten endlich viel kleinere Körneraggregate in Form von Adern und als Grundmasse auf; letztere dürften zum Theile secundären Ursprunges sein. Am interessantesten ist hier eine besondere Art von Umbildung, welche der Biotit erfahren hat, an dessen Stelle, oft unter Beibehaltung der ursprünglichen Form und Begrenzung, Aggregate sich abgelagert haben, welche lediglich aus feinster Hornblende bestehen und die an jene Hornblendevarietät erinnern, welche ein so charakteristisches Umwandlungsprodukt der Olivine in gewissen Kersantiten darstellt und von Becke Pilit genannt wurde: der Biotit hat demnach hier sozusagen pilitische Zersetzung erfahren. An manchen Stellen ist die Fasernatur dieser Hornblende recht deutlich, an andern jedoch sieht sie auch ziemlich compact aus, und wenn man dann gleichzeitig keine Spur mehr von dem ursprünglichen Biotitminerale sieht, so könnte man sie leicht selbst für ursprünglich halten. Auch ist zu bemerken, dass hie und da die Veränderung des Biotites noch einen anderen Verlauf genommen hat, indem Epidot und Chlorit daraus hervorging. In solchem Falle schritt die Zersetzung nur theilweise vor und ergriff nicht (wie im früheren Falle, welche ähnlich einer Paramorphose vor sich zu gehen scheint) nahezu gleichzeitig die ganze Masse, sondern es sind vielmehr da, wo der Biotit von einem Epidotrand umgeben wird, oder an Erzmassen sich anlehnt, die frischen Kerne häufiger zu bemerken.

8. French Corall. (Aus Syenitterrain.)

Von French Corall liegt eine kleine Gesteinsprobe vor, welche granitische Zusammensetzung mit gneissartiger Structur verbindet. Aus dem beigegebenen Dünnschliff von der gleichen Localität sind zweierlei Feldspathe (ungestreift

Digitized by Google

und gestreift, auch Mikroklin), sowohl ganz klar, als auch getrübt, also in sehr verschiedenen Stadien der Zersetzung, hervorzuheben, sowie Quarz und spärliche Reste von grünem Glimmer und Apatitsäulchen. Besonders schön sind hier kranzförmig um ein Epidotkorn angeordnete oder auch strahlig von rechteckigen, kleinen Feldspathquerschnitten ausgehende Pyrophyllitblätter zu beobachten. Als zweites Zersetzungsprodukt erscheint namentlich Zoisit in winzigen Körnchen.

**9.** Crocker Hamilton. (Aus der Grenzzone des granitischen gegen das Schiefer-Gebiet.)

Mittelkörnige Proben von diesem Fundorte könnten mit gleichem Rechte zum Biotit-Hornblende-Granit wie zum Quarzdiorit gestellt werden, wohin der Plagioklasreichthum zunächst verweisen würde. Interessanter ist die damit zugleich und zwar nach der Etiquette Reyer's im Contacte mit dem Schiefer vorkommende porphyrische Gesteinsvarietät, welche in Zusammensetzung und Structur einem Hornblendeporphyrit am nächsten kommt und daher später als solcher beschrieben werden soll.

**10.** Kamm westlich von Mariposa. Dichtes kersantitisches Gestein, angrenzend an gröberkörnigen, plagioklasreichen Biotitgranit. (Compacte Hornblende an Stelle und in Form von Biotit.)

Nach Reyer's Notizen herrscht das durch den feinkörnigen, bräunlichen Theil (a) des Schliffes repräsentirte, makroskopisch aphanitisch erscheinende Gestein an der genannten Localität vor und wird von helleren Gesteinen (Syenit-Diorit und Granit), von denen der gröberkörnige Theil (b) des Schliffes ein Beispiel gibt, durchbrochen. In beiden Hälften des Schliffes, deren Abgrenzung eine ziemlich scharfe ist, aber ganz unregelmässig verläuft, spielt brauner Biotit eine wichtige Rolle und ergibt sich zugleich ein höchst interessantes Verhältniss desselben zu einer namentlich im feinkörnigen Theil (b) daneben reichlich vorhandenen Hornblende. In (a) erscheint der Biotit in mitunter sehr dicken, d. h. senkrecht zur Basis langgestreckten Krystallen. Wo er frisch ist, besitzt er Trichroismus, trotzdem im convergenten polarisirten

Digitized by Google

Lichte merkliche Zweiaxigkeit nicht zu constatiren ist, und zwar erscheint er in gewissen Längsschnitten schwarz-zimmtbraun gefärbt für Schwingungen, die der vollkommensten Spaltbarkeit parallel gehen, hellgelb in der dazu senkrechten Richtung, während er in basischen Schnitten eine tief rothbraune Färbung annimmt. Local ist er zerrissen und dann von mehr oder weniger parallel gestellter Faserhornblende begleitet[1]; an anderen Stellen ist Bleichung und lagenweise oder gänzliche Chloritisirung, dabei auch Epidotbildung eingetreten (Taf. XVII Fig. 2). In (b) findet sich der Biotit in viel kleineren, dafür aber zahlreicheren ausgelappten und gerundeten Blättchen von ähnlicher Färbung, wie im früheren Falle; Chloritbildung ist hier nirgends zu bemerken, ebensowenig wie Bildung von Faserhornblende. Wohl aber ist neben dem Biotit eine blassgrüne, compacte Hornblende mit dem Pleochroismus: a weisslichgrün, b etwas dunkler, bräunlichgrün und c schwach blaugrün, vorhanden, deren Körner bis zu winzigen Dimensionen herabsinken, aber ein ungewöhnliches Aussehen besitzen (Taf. XVII Fig. 2 b). Dieses rührt, wie sich bei näherer Betrachtung herausstellt, davon her, dass die scheinbaren Körner vorwiegend flach sind und den nebenliegenden zerlappten Glimmerblättchen oft in der Form, bisweilen selbst in der Structur völlig gleichen. Wenn man ferner bemerkt, wie häufig und in welcher Weise brauner Glimmer hier sich einseitig und allmählich in ein Hornblendeblättchen fortsetzt, kurz alle Nebenumstände berücksichtigt, so kann man sich nicht der Überzeugung verschliessen, dass hier compacte Hornblende an Stelle und in die Form des Biotites getreten sei, welcher zuvor allein vorhanden war.

Der Feldspathgemengtheil in (a) ist hauptsächlich Plagioklas und nach optischen Bestimmungen zum Theil sicher dem Oligoklase zuzurechnen, wiewohl dem Vorhandensein

[1] Mitunter entstehen Anordnungen, die an gewisse Verhältnisse im „Gloggnitzer Forellenstein" erinnern. Schöner noch war eine ähnliche Art der Umwandlung von Biotit in ein grünes Faser- und Blätteraggregat von Hornblende und Chlorit und gleichzeitig in Kaliglimmer in einem weiteren Gesteinsschliffe (10') zu sehen; da gerade in diesem Falle der Fundort des zugehörigen Gesteins nicht genauer bestimmt ist, so verzichte ich lieber auf eine nähere Beschreibung der interessanten Erscheinung und begnüge mich mit dieser Erwähnung.



Digitized by Google

zonaler Structur entsprechend auch andere, vielleicht basischere Mischungen vorliegen dürften. Orthoklas ist nur untergeordnet und zum Theile in mikroperthitischer Ausbildung zu bemerken. In (b), wo Orthoklas gänzlich fehlt, hat der Plagioklas, im Gegensatze zu den mehr gleichförmig entwickelten Krystallen der gröberkörnigen Parthie, die Form auffallend langer und schmaler, z. Th. strahlig gruppirter Leisten angenommen, die aber gleichfalls nur sehr geringe Auslöschungsschiefe besitzen. Die Zwischenräume dieser Aggregate werden eben von den erwähnten Biotitblättchen und Hornblendeindividuen sowie von sehr wenig Quarz erfüllt. Als Umwandlungsprodukt des Feldspathes ist besonders Zoisit zu erwähnen. Eine getrübte Ader, die Stellen verbindend, wo Zoisitbildung im Feldspathe vorzugsweise eingetreten ist, setzt durch die gröber- und feinkörnige Parthie hindurch sich gleichmässig fort.

Quarz spielt im gröberkörnigen Theile keine bedeutende Rolle und tritt im andern noch mehr zurück. Von sonstigen Gemengtheilen sind ausser dem bereits oben angeführten Epidot und Titanit in Verbindung mit Erz, noch Zirkon, z. Th. in typischen Krystallen, z. Th. in gerundeten Körnern, Apatit zumeist in sehr langen Nadeln, die beiden letzteren Gemengtheile stellenweise reichlicher angehäuft, zu nennen. Im gröberkörnigen und dichten Theile waren dem Gesagten zufolge wenigstens zu einer gewissen Zeit nahezu die gleichen Bestandtheile vorhanden, ihre Verschiedenheit war dann hauptsächlich durch die in einem Falle granitischkörnige, im andern diabasische Structur bedingt.

**11.** Im Flussbette anderthalb Stunden westlich von Nevada City.

Die unter der Bezeichnung Diorit vorliegende Gesteinsprobe vom genannten Fundorte könnte nach den Ergebnissen der mikroskopischen Untersuchung ebensowohl auf Quarzdiorit als auf Hornblendegranit bezogen werden, da die Natur des darin enthaltenen Feldspathes, hauptsächlich wegen des vorgeschrittenen Stadiums seiner Zersetzung sich nicht mit genügender Sicherheit feststellen lässt, im Übrigen aber viel Aggregatquarz und Hornblende vorliegt.

Digitized by Google

**12** und **13.** Ossaville. (Schwarze erzführende Schliere im Tonalit.)

Es liegen zwei verschiedene Schliffe von diesem Fundorte vor. Der eine (12) besitzt die Zusammensetzung eines Quarzbiotitdiorites. Gut auskrystallisirter, meist rechteckig, respective leistenförmig begrenzter, mit einem trüben Kerne und wasserklarer Randzone oder überhaupt mit trüben Zersetzungsflecken versehener, zonal gebauter Plagioklas, seinem optischen Verhalten zufolge mindestens von der Mischung eines Labradorites, vielleicht noch basischerer Natur, sowie (in Folge von Titangehalt?) eigenthümlich röthlichbrauner Biotit und ziemlich dunkel, bräunlichgrün gefärbte, auch in Zwillingen auftretende Hornblende bilden nämlich mit einer Quarzzwischenmasse die Hauptbestandtheile. Der deutlich zweiaxige, intensiv gelb in der einen, fast schwarz in der dazu senkrechten Richtung erscheinende, zuweilen mit grünen Zersetzungsflecken bedeckte Biotit, ist vielfach gänzlich in eine schwarze Erzmasse verwandelt. Doch tritt dunkles Erz (Magnetit) auch selbständig in Krystallstöcken und einzelnen würfelähnlichen Durchschnitten auf. In der Nähe des Biotites finden sich auch runde bräunliche Erzkugeln. Die Hornblende besitzt folgenden Trichroismus: // a schön gelblichgrün, auch gelb, aber blasser als der analoge Farbenton des Biotites, // b bräunlichgrün (lauchgrün), // c blaugrün (dunkelgrün). Dieselbe ist theilweise zersetzt, wobei sich auch Calcit gebildet hat. Für die Beurtheilung des vorliegenden Gesteines besonders beachtenswerth erscheint ein ganz vereinzelter Durchschnitt, wo dunkelblaugrüne Hornblende in Form eines einheitlich auslöschenden, aber ausgelappten Randes einen sehr blassgrünen, nicht dichroitischen, durch parallel geordnete Erzschnüre einigermaassen an Diallagstructur erinnernden Augitkern umgibt, was um so auffallender ist, da sonst von Augit nicht eine Spur zu beobachten war. Jedenfalls secundärer Epidot erschien, wie zernagt und in Körner aufgelöst, zwischen die verzahnten Quarzkörner eingeschoben, welche die Zwischenräume zwischen den vorigen Gemengtheilen erfüllen. Im Epidot wurden vereinzelte Turmalineinschlüsse, im Quarze Zirkonnadeln, in diesem und im Feldspathe auch Apatitkörner und -Nadeln bemerkt.



Digitized by Google

**13.** Der zweite Schliff ermangelt gänzlich des Plagioklases und Biotites, enthält dagegen wieder Hornblende mit wenig Calcit, viel Quarz und auch Epidot (inmitten der Hornblende und selbständig) in unregelmässigen Körnern und ausgezackten Individuen von gelblicher Farbe für gewisse Schwingungen, farblos für die dazu senkrechten. Ganz hauptsächlich besteht er aber aus einer stellenweise völlig dichten Anhäufung von Turmalin. Dort wo der Schliff etwas dicker ist, sieht er dann ganz undurchsichtig, schwarz, wie vererzt aus. An den dünnsten Rändern und in der Nähe des Quarzes und der anderen Gemengtheile löst sich die scheinbar dichte Masse in ein wirrstängliches Aggregat von Turmalinsäulchen auf, welche im Querschnitte trigonalen Umriss besitzen, schwarz gefärbt erscheinen, mit einem bläulich violetten Stich — in den zuweilen hemimorph endigenden Längsschnitten für Schwingungen parallel zur c-Axe einen schön hyacinthrothen (bis zimmtbraunen), senkrecht dazu einen dunkelrothbraunen (bis schwarzen) Farbenton besitzen, abgesehen davon, dass die dünnsten auf einer Quarzunterlage ruhenden bei einer Drehung des Objecttisches die herrlichsten blauen, grünen und rothen Farben annehmen. An wenigen Stellen des Präparates sind die Turmaline zugleich mit den andern Gemengtheilen etwas gröber auskrystallisirt. Die Hornblende ist in diesem Schliffe viel reiner und heller grün (grüngelb, blaugrün und spangrün) gefärbt, als im früheren Falle, hat mehr uralitisches Gefüge und sieht randlich oft wie zerfressen aus, wobei die ursprünglichen Umrisse bisweilen vom Quarz ergänzt erscheinen. Auch Zirkon und Apatit fehlen nicht gänzlich.

Von den zwei Gesteinsproben, welche den Schliffen beigegeben sind, besteht die eine augenscheinlich fast ausschliesslich aus der dichten Turmalinausscheidung, welche nur mit wenig Quarz, dagegen aber sehr reichlich mit Pyrit imprägnirt ist. Die zweite Probe enthält neben dem Turmalingemenge noch lichtere gröberkörnige Parthien, welche schon makroskopisch ihre Zusammensetzung aus Quarz, Hornblende und Epidot deutlich erkennen lassen.

Digitized by Google

**14.** SW. von Hites Cove. Quarzreiche Ausscheidung im Diorit.

Als solche hat man vielleicht das nachstehend zu besprechende, fast ausschliesslich aus Hornblende und Quarz zusammengesetzte Gestein aufzufassen, wenn man die Umgebung berücksichtigt, in welcher es nach Reyer's Aufzeichnungen vorkommt. Der beigegebene Probesplitter sieht fast wie ein reiner, körniger Hornblendefels aus. Im Schliffe liegen grössere prismatische Krystalle einer schön pleochroitischen (// a gelb, // b saftgrün, // c blaugrün gefärbten) Hornblende wie Einsprenglinge in einer aus Quarzkörnern gebildeten Grundmasse, in welche jedoch auch viel kleinere Individuen und zahlreiche bis zu winziger Kleinheit herabsinkende Nädelchen derselben Hornblende eingestreut sind; letztere erscheinen bisweilen in solcher Weise gruppirt, als wären sie aus dem Zerfalle der grösseren Krystalle hervorgegangen, wobei sich gleichzeitig feine braune Biotitschüppchen einstellen. Die Hornblendeindividuen sehen übrigens im Ganzen recht frisch und nur stellenweise etwas gefasert aus; dagegen bemerkt man öfters Querschnitte mit geradlinig ausgezacktem Rande, an welchem die einzelnen Zacken abwechselnd bald der einen, bald der andern der im Innern sichtbaren prismatischen Spaltbarkeit parallel gehen. Getrübte gekörnelte Massen im Quarze sind vielleicht mit zersetzten Feldspath- und Biotitresten in Zusammenhang zu bringen. Rothbraune und schwarze Erzpartikel liegen in dieser Körnermasse mitten drin.

**15.** Nevada City (typischer Quarzdiorit).

Der Schliff enthält ausser oligoklasähnlichem Plagioklas noch etwas Orthoklas in Form von Mikropegmatit, viel grossen Quarz, polysynthetische Hornblendezwillinge, Biotit und Chlorit. Ziemlich klar erscheint hier ein interessantes Verhältniss zwischen der Hornblende und dem Biotit. Die stark pleochroitische Hornblende (a = bräunlichgelb, b = braungrün, c = dunkel bläulichgrün) geht durch beginnende Biotitbildung scheinbar in dunklere bräunliche Hornblende über. Aber auch der selbständig auftretende Biotit dürfte hier lediglich secundären Ursprunges und zwar in Folge dynamometamorpher Vorgänge aus der Hornblende hervorgegangen sein. Die Horn-

Digitized by Google

blendekrystalle sind nämlich vielfach gebrochen, die Bruchstücke, mit zum Theile deutlich erhaltenen Umrissen, oft in der Nähe derjenigen Stelle zu finden, wo sie losgebrochen wurden. Schon an jenen Krystallen, welche deutliche Spuren einer Pressung und theilweisen Verschiebung ihrer Theile erkennen lassen, bei denen jedoch der Zusammenhang der Theile im Ganzen noch erhalten blieb, sieht man, dass die am stärksten gedrückten Stellen hie und da eine substantielle Umwandlung in gesetzmässig zur Druckrichtung und zu den Spaltrichtungen derselben angeordneten Biotit erfahren haben und noch mehr gilt dies von den ausgefransten seitlich abgetrennten Bruchstücken, welche zuweilen ganz in Biotitfetzen verwandelt sind; der zerlappte unregelmässige Umriss derselben gewinnt dadurch hier eine bestimmte Bedeutung. Der auf Taf. XVII Fig. 3 abgebildete Hornblendezwilling dürfte geeignet sein, das Gesagte einigermaassen zu illustriren. Der Biotit selbst erscheint wieder lagenweise in Chlorit übergeführt. In manchen Querschnitten haben die Hornblendekrystalle das Aussehen von Krystallstöcken. Apatit und Zirkon treten deutlich hervor.

16. Der Quarzdiorit von Johnson Weber Lake wurde mikroskopisch nicht näher untersucht.

17. Bonyard Big-Oak Flat. (Mit Quarzgängen in Verbindung stehender Diorit-Syenit und Syenit-Granit.)

Interessante Varietät von Quarzdiorit, in welcher der Feldspath in Saussurit umgewandelt, die Hornblende theils ausgeblasst, theils in Epidot und Chlorit, vermuthlich auch in Chloritoid umgebildet erscheint.

In ziemlich reichlicher Menge auftretender grobkörniger Quarz, welcher durchwegs stark undulöse Auslöschung und alle Anzeichen starker Pressung zeigt, ist wohl primärer Natur, während sicher secundärer Quarz, Hornblendebruchstücke und Hornblendereste zur ursprünglichen Form ergänzend, gleichfalls vorhanden ist. An Stelle des Feldspathes, dessen Grundsubstanz mit Zwillingsstreifung nur selten mehr hervortritt, findet sich vielfach typischer Saussurit, dessen Zoisitnädelchen sich beim Grösserwerden in ihren optischen Eigenschaften, namentlich in Färbung und Polarisation dem

Digitized by Google

Verhalten des Epidotes annähern, so als ob eine mittlere Mischung der beiden Epidotsubstanzen hier vorläge, während andererseits typische, gross auskrystallisirte Epidotkrystalle (zumeist in der zersetzten Hornblende liegend) und typische Zoisitkrystalle (hauptsächlich an Stelle des Feldspathes) einander gegenüberstehen. Zwischen den Zoisitanhäufungen haben sich an Stelle des Feldspathes noch wirre Aggregate farbloser Blättchen eines glimmerähnlichen Minerales vom Habitus des Pyrophyllites abgeschieden. Das Chloritmineral, welches anfangs den Anblick eines zersetzten Biotites gewährt, beim genaueren Studium des Schliffes sich aber von der Hornblende ableiten lässt, zeigt tief dunkelblaue und rothviolette Polarisationsfarben und sehr schwache Aufhellung bei gerader Auslöschung zwischen gekreuzten Nicols, sowie den bekannten auffallenden Dichroismus (hellgelb bis fast weiss in einer zur vollkommensten Spaltbarkeit senkrechten, dunkel spangrün in einer dazu parallelen Richtung).

Neben völlig frisch und intact aussehender Hornblende bemerkt man hie und da Durchschnitte derselben, welche am Rande wie angenagt erscheinen und in deren unmittelbarer Nähe tritt dann Epidot und Chlorit auf, letzterer die Conturen der Hornblendeindividuen bisweilen geradezu ergänzend. Diese Hornblende, deren Pleochroismus // a bräunlich gelbe, // b dunkel braungrüne, respective lauchgrüne, // c blaugrüne Farbentöne liefert, ist jedoch local und zwar einseitig noch eine andere Veränderung eingegangen. Dafür mögen die auf Tafel XVII abgebildeten Figuren (4) als Beispiel dienen. Fig. 4 a stellt den Längsschnitt eines Zwillingskrystalles dar, welcher an seinem dunkelgrün gefärbten unteren Ende lebhaften Pleochroismus, hingegen schwache Polarisationsfarben (gelb, rothbraun, orange), kurz alle Eigenschaften der im Gesteine auftretenden compacten Hornblende besitzt. Am oberen Ende erscheint der Krystall gänzlich ausgeblasst. Er hat seinen Pleochroismus fast völlig verloren und eine sehr lichtgrüne fast weisse Farbe angenommen. Im polarisirten Lichte zeigt er dagegen viel grellere, rothe, blaue und gelbe Polarisationsfarben. In den Cohäsionsverhältnissen allerdings ist zwischen den beiden Hälften kein auffallender Unterschied zu bemerken, höchstens eine Abnahme in der Vollkommenheit

Digitized by Google

der Spaltbarkeit. An der Grenze beider Theile, welche ziemlich unregelmässig verläuft, findet ein ganz allmählicher Übergang statt; sie werden durch keine scharfe, gerade Linie, wohl aber durch eine stellenweise Anhäufung von z. Th. regelmässig gestellten, mit ihrer Längsrichtung der Verticalaxe des ursprünglichen Hornblendekrystalles parallel angeordneten Epidotprismen geschieden. Die Zwillingsstreifung hat bei der eingetretenen Veränderung selbst keine Störung erfahren, so zwar, dass die Zwillingslamellen in ihrem oberen Theile noch dieselbe Auslöschungsschiefe beibehalten haben, wie im unteren, wo sie den bei Hornblende-Längsschnitten in der Regel angetroffenen Verhältnissen beiläufig entsprechend nicht viel über 12° beträgt. Kurz, die farblose Hälfte verhält sich selbst wieder, wie ein Hornblendemineral, etwa wie Tremolit. Fig. B, welche einen Querschnitt darstellt, bietet ähnliche Verhältnisse dar. Wie ein unregelmässig begrenzter Keil erscheint hier die farblose bis schwach grünliche Tremolitsubstanz, wieder von Epidotanhäufungen begleitet, zwischen die compacte, bräunlichgelbe bis lauchgrüne Hornblende hineingeschoben; mitten in der letzteren bemerkt man auch etwas Chlorit. Wieder tritt erstere auch zwischen gekreuzten Nicols durch auffallende Verschiedenheit der Polarisationsfarben aus der Umgebung hervor, mit welcher sie in Auslöschung und Structur übereinstimmt.

Was aber in Hinsicht auf die eben besprochenen Verhältnisse noch ausserdem bemerkenswerth erscheint, ist der Umstand, dass neben dem zweifellosen Chlorit auch chloritähnliche Blättchen hier vorkommen, welche in den Polarisationsfarben sich demselben nähern, durch schiefe Auslöschung, nahezu senkrechten Austritt einer optischen Axe auf der Fläche der deutlichsten Spaltbarkeit sich davon entfernen, in der Färbung hingegen mit dem lichten Hornblendemineral auffallend übereinstimmen.

Dieses zweiaxige Mineral, welches am meisten an Chloritoid erinnert, würde dann dem Anscheine nach zu einem zwischen Chloritbildung und Bleichung befindlichen Stadium des Verdrängungsprocesses der braunen Hornblende gehören. Schliesslich wäre noch Pyrit, sowohl frischer als umgewandelter, aus dem Schliffe zu erwähnen.

Digitized by Google

CALIFORNIA

**18.** Westlich von French Corall. Quarzdiorit mit Pilit.

Das Gestein enthält ziemlich grosse und oft rundum auskrystallisirte Hornblende- und Feldspathindividuen. Der grösste Theil des Feldspathes ist wieder unzweifelhaft Plagioklas. Orthoklas ist trotz der Häufigkeit Carlsbader Zwillinge schwerlich vorhanden, da auch diese Krystalle meist feine, polysynthetische Zwillingslamellirung erkennen lassen. An die stellenweise compacten Hornblendekrystalle mit a = schmutzig grünlichgelb, b = dunkel bräunlichgrün, c = bläulichgrün, finden sich an manchen Stellen Büschel von feinen Hornblendenädelchen angesetzt, so, als ob in einem späteren Stadium eine theilweise Verflüssigung und Umkrystallisirung in Pilitform eingetreten wäre. Die Pilitanhäufungen finden sich namentlich zwischen undulös auslöschendem Aggregatquarz. Auch Magnetit ist hier reichlicher vorhanden.

**19.** Mooneys Flat. Zersetzter Quarzdiorit. Übergang zum Tonalit.

Zu den Quarzdioriten würde man nach dem mikroskopischen Befunde auch das Gestein von Bridgeport Finey zu rechnen haben. Der mir vorliegende Schliff lässt allerdings gleichzeitig darauf schliessen, dass das Gestein an dem Punkte, von welchem die mitgenommene Probe stammt, bereits eine starke Zersetzung erfahren haben müsse. Manche Bestandtheile sind demzufolge hie und da nur mit Wahrscheinlichkeit zu bestimmen. Unzweifelhaft vorhanden ist ein sehr fein gestreifter Plagioklas, welcher in den durch Zwillingsbildung nach dem Periklingesetz charakterisirten Durchschnitten von der Lage der Fläche $\infty\bar{P}\infty$ sich durch das optische Verhalten als Oligoklas zu erkennen gibt. Auch Hornblendereste sind zweifellos vorhanden und besitzen einen Pleochroismus, der // c blaugrüne, senkrecht dazu gelbgrüne Farbentöne liefert. Häufig sind Carlsbader Zwillinge zu beobachten, deren eine Hälfte im polarisirten Lichte einfach und homogen, deren zweite Hälfte mit einer senkrecht zur Zwillingsgrenze stehenden, parallelen, mehr oder weniger verschwommenen Lamellirung versehen ist, welche undulöse Auslöschung zeigt. Ob man es hier mit einem durch optische Anomalien ausgezeichneten Orthoklas

Digitized by Google

(resp. Sanidin) oder lediglich mit Plagioklas zu thun hat, ist nicht zu entscheiden. Auch sind beide Feldspathe kaolinisirt.

Ausser der undulösen Auslöschung gibt es noch mehrere andere Anzeichen, welche darauf hinzuweisen scheinen, dass einige der vorhandenen Gemengtheile Druckwirkungen und Verbiegungen ausgesetzt waren, wobei Quarz gerne als Ausfüllung der entstandenen Risse erscheint. Gleiche Rolle spielen aber auch die offenbar als Zersetzungsprodukt der ursprünglichen Gemengtheile auftretenden Neubildungen von Epidot und besonders auch Titanit, letzterer zum Theile in der bekannten Weckenform. Der Titanit scheint in genetischer Beziehung zu einem gleichfalls in Überresten vorhandenen Erze zu stehen, dabei aber mit besonderer Vorliebe an Stelle von zersetzter Hornblende oder in deren Nähe sich angesiedelt zu haben; wenigstens ist er da am häufigsten zu finden. Beim Studium des Schliffes gewinnt man überhaupt den Eindruck, als wären die Zerbrechungen und Verdrückungen, welche zu beobachten sind, grösstentheils oder ganz erst während der Zersetzung, vielleicht ausschliesslich im Zusammenhange damit vor sich gegangen, als wäre beispielsweise die an ihren Enden öfters ausgefranste und gleichzeitig umgebogene Hornblende einer theilweisen Auflösung und Erweichung unter gleichzeitiger Pressung ausgesetzt gewesen. Wenn daher das Gestein gegenwärtig einen klastischen Charakter besitzt, so erweist sich derselbe unter dem Mikroskope wenigstens zum Theile als sicherlich secundär.

**20.** SW. von Hites Cove. Biotit-Quarzdiorit oder plagioklasreiche Parthie eines Biotit-Hornblende-Granites.

In einer aus Quarz gebildeten Zwischenmasse liegen schön ausgebildete, tafelförmige Plagioklaskrystalle von verzerrt hexagonalen oder rhomboidischen Umrissen, welche fast sämmtlich in charakteristischer Weise mit einem den äusseren Umriss scharf wiederholenden epidotisirten und kaolinisirten Kerne versehen sind. Ob derselbe gleichfalls aus Plagioklas, oder ob er aus Orthoklassubstanz bestand, dafür fehlt jeder Anhaltspunkt; wahrscheinlich ist jedoch das eine, dass er schon ursprünglich eine von der umhüllenden Zone abweichende Beschaffenheit besass.

Digitized by Google

Die übrigen Bestandtheile, namentlich Hornblende (mit a = gelb, c = blaugrün) und Biotit, zeigen keine guten Conturen, ebensowenig wie der reichlich vorhandene, undulös auslöschende Quarz. Sonst sind noch Kaliglimmer, Chlorit, Epidot, Titanit und Magnetkies zu erwähnen. Das Vorhandensein von kleinen Augitkörnchen ist etwas fraglich. Der Kaliglimmer findet sich öfters mitten im Plagioklas, und zwar mitunter regelmässig orientirt, z. B. parallel zur Zwillingslamellirung eingewachsen. Der schwarzgrüne Biotit ist stellenweise in ein Aggregat von kleinsten Fäserchen verwandelt, die sämmtlich parallel seiner vollkommenen Spaltrichtung angeordnet erscheinen. An jenen Stellen, wo der Biotit, zwischen neugebildeten Bestandtheilen, einer Pressung ausgesetzt war, erscheint er aufgeblättert, ausgeblasst und hellgrün geworden, theilweise in Chlorit und Epidot verwandelt. Andererseits erscheinen Hornblende und Biotit auch hier innig verwachsen. Bezüglich des Quarzes sind ziemlich gerade verlaufende Sprünge bemerkenswerth, welche unter dem Anscheine von Spaltrissen einzelnen Quarzindividuen fast ganz das Aussehen eines Orthoklases ertheilen, jedoch wieder von echten Spaltrissen leicht zu unterscheiden sind, weil sie durch eine Anzahl Körner von verschiedener Stellung und unregelmässig ausgebuchtetem und ausgezacktem Umriss sich gleichmässig fortsetzen.

**21.** Westlich von Spencerville. Quarzdiorit mit Biotit.

Die Hauptmasse des Feldspathes ist ein Plagioklas mit oligoklasähnlichem Habitus; Orthoklas, wenn vorhanden, spielt nur eine untergeordnete Rolle; der Feldspath ist stark kaolinisirt, auch etwas saussuritisch zersetzt. Quarz dürfte reichlich vorhanden sein, wiewohl er sich nur zum kleinsten Theile mit Sicherheit nachweisen lässt. Biotit und Hornblende sind wieder innig verwachsen; das wechselseitige Verhältniss aber ist hier nicht recht klar. Bald scheint Biotit sich in Faserhornblende zu verlieren, bald liegt scheinbar frische Hornblende (ohne scharfe Umgrenzung) mitten in halbzersetztem Biotit. Zuweilen ist der Biotit in Chlorit verwandelt. Die Hornblende, mitunter auch vollständig compact und in polysynthe-

Digitized by Google

tischen Zwillingen auftretend, zeigt Pleochroismus zwischen bräunlichgelb (a) und grünlich bis rein braun (b). Von accessorischen Mineralen sind besonders vereinzelte, schöne Zirkonkryställchen, zahlreiche typische Apatitnadeln und tafelförmig gebildete Apatite zu erwähnen und ausserdem namentlich als Einschlüsse im Quarz Mikrolithe von blass gefärbtem Augit und dunkler, blaugrüner Hornblende hervorzuheben. Mitunter sind dabei mehr rundliche bis flache Augitkörner mit langen Hornblendenadeln in krystallographisch orientirter Stellung verwachsen, so dass die Spaltrisse, welche im auflagernden Augitkorn der verticalen Axe parallel gehen, mit der Längsrichtung der Nadeln übereinstimmen. Endlich fehlt auch bräunlich rother Titanit im Schliffe nicht gänzlich. Derselbe war ausserdem in einer zweiten vom gleichen Fundorte stammenden Gesteinsprobe schon makroskopisch erkennbar und sowohl auf chemischem Wege (durch die Phosphorsalzperle), wie durch das optische Verhalten mit Sicherheit direkt nachweisbar.

**22.** Grenze der Granitzone, östlich von Bear Valley.

Zum Quarzdiorit wäre das zu einer vom obigen Fundorte vorhandenen Probe gehörige Gestein zu stellen, wenn die kleinen, zwischen grössere, stark epidotisirte, hie und da aber auch recht frische Plagioklase und Hornblenden nach Art eines Bindemittels eingeklemmten Quarzkörnchen als primären Ursprunges betrachtet werden. Das Gestein enthält sehr viele und schöne Epidotkrystalle.

**23.** Yuba Flume westlich von Bear Valley.

Dieser Schliff betrifft die vom Contact mit dem oben beschriebenen Biotitgranit derselben Localität entnommene Gesteinsprobe und repräsentirt ein im jetzigen Zustande grösstentheils verändertes Gestein, was den Feldspath betrifft, welcher durchwegs zersetzt ist und ganz die gleichen Zersetzungserscheinungen aufweist, wie der Plagioklas im angrenzenden Granitgestein, nur dass jetzt die Kaolin- (resp. Pyrophyllit) Blättchen besser entwickelt sind. Da Quarz nur sehr spärlich vorhanden ist, dagegen Hornblendekrystalle von sehr verschiedener Grösse wirr durcheinander gewachsen auf dem lichten Untergrunde porphyrisch sich abhebend in reichlicher

Digitized by Google

Menge vorliegen, so dürfte das Gestein im frischeren Zustande einen grobkörnigen Diorit repräsentirt haben. Auch Biotit ist vorhanden, tritt aber hinter die Hornblende an Grösse und Menge sehr zurück. Die Hornblende erscheint in dem verhältnissmässig dicken Schliffe stark gefärbt a = gelb, b = gelbgrün, c = blaugrün. Epidot tritt besonders in Körneranhäufungen auf. Gegen den Granit hin bildet eine Epidotzone einerseits und Quarzzone andererseits die Abgrenzung.

**24.** Ein zweiter Schliff, vom gleichen Fundorte, wäre seiner gegenwärtigen Zusammensetzung zufolge gleichfalls auf einen zersetzten Diorit zu beziehen, während gewisse Verhältnisse auf Diabas als ursprüngliches Gestein verweisen. Dazu gehört namentlich die Leistenform der Plagioklasumrisse, deren Inneres auch hier grösstentheils mit Umwandlungsprodukten angefüllt ist, während die sehr wenig pleochroitische und stellenweise ganz ausgeblasste Hornblende zumeist in rundlichen Körnern als Zwischenmasse, viel seltener in länglichen Säulen erscheint und Zersetzungsflecken von Biotit und Chlorit enthält. Grosse einfache Hornblendezwillinge nach (100), mit einer Auslöschungsschiefe von je 15° zu beiden Seiten der Zwillingsgrenze wurden ebenfalls beobachtet. An Diabas erinnert ferner noch das reichliche Vorhandensein von Titaneisen mit Leukoxenrand. Von sonstigen Gemengtheilen fallen namentlich Apatit und Quarz in die Augen, welch letzterer sich secundär auf Adern abgeschieden hat.

**25.** Auch von Horseshoe-Bend liegt mir eine Probe eines stark umgewandelten Gesteines von gegenwärtig mehr oder weniger dioritischer Zusammensetzung vor, welches aber, wie die eigenthümliche Aggregation, der Pseudomorphosen ähnliche Charakter der vorwaltenden grünen Hornblende, Diallag- und Olivinreste, sowie Reste eines rhombischen Pyroxens, endlich Titaneisen- und Leukoxen-Gehalt vermuthen lassen, aus der Zersetzung eines gabbroähnlichen Gesteines hervorgegangen sein dürfte. Der Feldspath ist fast gänzlich zerstört und auch ziemlich viel secundärer Quarz vorhanden.

Digitized by Google

**26.** Hamilton. Epidiorit mit Zersetzungsflecken. (Gänge im Schieferterrain.)

In die gleiche Kategorie mit dem früheren gehört das vorliegende Gestein, dessen Structur eher als doleritisch, respective diabasisch, dessen Zusammensetzung wegen des Vorwaltens der Hornblende eher als dioritisch zu bezeichnen ist. Nach der Korngrösse hätte man es mit einem Mikrodiorit zu thun. Besonders auffällig sind hier zu beobachtende, eigenthümliche trübe Zersetzungsflecken, wo die Veränderung der Bestandtheile einen etwas anderen Verlauf genommen hat, als nebenan. Dieselben bestehen aus einem krümlichen Körnchenaggregat, welches, zuweilen gelblich gefärbt, sich hie und da als feinstes Gemisch von Chlorit und Epidot oder Zoisit darstellt.

Der verhältnissmässig gut erhaltene Plagioklas tritt vorwiegend in Leistenform auf. Neben seltener vorkommenden, farblosen Augitkrystallen finden sich ziemlich gute Krystalle und Körner brauner Hornblende in grosser Zahl mit deutlichem Pleochroismus $a$ = gelb, $b$ = braun. Da, wo diese braunen Hornblendeindividuen in den Kreis der Zersetzungsflecken treten, zeigt sich die auffallende Erscheinung, dass sie in ihrem in die gelbliche gekörnelte Substanz hineinragenTheile gleichsam die Farbe verlieren. Während der obere Theil eines solchen Individuums dunkelbraun und stark pleochroitisch ist, erscheint das untere Ende sehr blass und zwar schön lichtgrün gefärbt und hat seinen Pleochroismus verloren, während die Auslöschung noch dieselbe geblieben ist. Wenn dies nicht der Fall und überdies die Polarisationsfarben nicht so kräftig wären, wie von Talk oder von Tremolit zum Beispiele, so würde man diese Substanz für Chlorit zu halten geneigt sein. Vielleicht hat man es übrigens mit einem Übergangsstadium zur chloritischen Zersetzung zu thun. An anderen Stellen (im Zusammenhange mit Druckerscheinungen) ist nämlich eine Zerfaserung der grünen Hornblende in ganz charakteristischer Weise zu bemerken. Parthien, die sich nach Spaltbarkeit und Auslöschungsschiefe noch als identisch mit der blassgrünen Hornblende erweisen, verlieren sich ganz allmählich zwischen wirren Blätteraggregaten von ziemlich typischem Chlorit. Im Laufe einer fortschreitenden Umbildung, die in diesem Falle nicht gerade eine eigentliche Verwitterung

Digitized by Google

zu sein brauchte, würde ein Theil der Hornblende grün, endlich zerfasert werden. Ganz aus grünen Nädelchen bestehende Pseudomorphosen gehören entweder hierher oder sind auf Zersetzung von Biotit zu beziehen. Darin, dass die trüben Zersetzungsflecken mit reichlicher Pyritbildung (unter gleichzeitiger theilweiser Zerstörung des ursprünglichen Erzes) im Zusammenhange stehen, könnte man vielleicht einen Hinweis auf Fumarolenthätigkeit als deren wahrscheinliche Ursache erblicken.

Ausser den genannten Bestandtheilen ist noch Pyrophyllit im Plagioklas, Quarz in geringer Menge als Zwischensubstanz und amorphes grünlichgelbes und gelblichrothes Eisenoxydhydrat als färbendes Element zu bemerken.

27. Hamilton. Gleichfalls Epidiorit (umgewandelter Diabas). (Nach Reyer Gänge im Schiefer.)

Dieses Gestein enthält zweierlei Hornblenden: Braune Hornblende in denselben Formen und mit demselben Habitus wie im vorigen Gestein, dann fasrige, lichtere Hornblende als unzweifelhaften Uralit in reichlicher Menge. Ausserdem ist zu beobachten, dass Augitkrystalle von Hornblendekrystallen in paralleler Stellung theilweise umschlossen werden, also parallele Verwachsungen darstellen, welche in blosse Anlagerung übergehen, — andererseits aber selbst die compacte braune Hornblende fast immer mit einem Kerne von Augit versehen ist, während der Uralit ganz vorzugsweise nur als schmaler Rand um innen noch erhaltene farblose Augitreste erscheint. Die Faserhornblende ist für Schwingungen // a gelblich, für solche // c dunkler, grünlichgelb, die braune Hornblende, welche jedenfalls in einem früheren Stadium der Gesteinsbildung ausgeschieden, sich in gewissem Sinne der ersteren gegenüber also als die ursprüngliche darstellt, besitzt für a gleichfalls eine gelbe, für b und c aber braune Farben.

Bemerkenswerth sind noch schöne Pseudomorphosen, welche in ihrer Form halb an Augit halb an gewisse hemimorphe Olivindurchschnitte erinnern, während die Füllmasse bald aus einer chloritischen Substanz, mit auffallend blauer Polarisationsfarbe, starkem Pleochroismus (gelb und grün)

Digitized by Google

bald aus isotroper Serpentinsubstanz zu bestehen scheint. Mitten im Chlorite liegen eigenthümliche Körneraggregate. Einige davon polarisiren so grell wie Epidot, andere besitzen die schwache Aggregatpolarisation der aus sehr winzigen Elementen zusammengesetzten Anhäufungen von Leukoxen und umschliessen thatsächlich fast jedesmal Reste eines Erzes (Titaneisen) kranzförmig oder gehen strahlenförmig davon aus; sie erweisen sich dann bei genügend starker Vergrösserung gewöhnlich als nur scheinbar einheitlich gebaut und bisweilen bemerkt man in letzterem Falle am Rande feinste Rutilnädelchen, die wie Spitzen herausragen. Auch Calcit, mit typischer Zwillingsstreifung, erscheint unter den Zersetzungsprodukten und nimmt an jenen Chloritpseudomorphosen gleichfalls Theil. Pyrit ist ziemlich reichlich vorhanden und der Titanit (Leukoxen) ist besonders in seiner Nähe am häufigsten zu finden. Die Chloritbildung dürfte allem Anscheine nach das zweite Stadium des mit der Uralitisirung eingeleiteten Zersetzungsprocesses des Augites darstellen. Das Vorherrschen des Chlorites im Schliffe ist mehr local. Bisweilen kommen Durchschnitte vor, die in höchst regelmässiger Weise an der (ziemlich gut erhaltenen) Augitform drei Zonen unterscheiden lassen, einen Kern von Augit, eine concentrische Hülle von Faserhornblende und eine äusserste Randzone von Chloritsubstanz. Mitunter sind an den Hornblendekrystallen Zerbrechungen zu beobachten und an solchen Stellen, wo die Bruchstücke auseinander geschoben sind und wo sich bemerkenswerther Weise meist auch ein Titaneisenrest, immer aber Leukoxen vorfindet, ist jedesmal Chloritbildung eingetreten. Dies führt zum Schlusse, dass der Chlorit zwar gewöhnlich ein Zersetzungsstadium der selbst bereits secundären Hornblende darstellt, dass aber unter dem Einflusse starker Pressung Chlorit bei Gegenwart von Titaneisen unter gleichzeitiger Leukoxenbildung, auch direkt aus dem Augite entstehen könne.

**28.** Weg von Nevada nach Grass-Valley. Epidotisirter (saussuritischer) Diorit (Tuffgestein?).

Reichliche Epidot- resp. Zoisitbildung muss nach der Probe, die mir davon vorliegt, im Gesteine dieses Fundortes stattgefunden haben. Von allen Seiten dringt die im auf-

Digitized by Google

fallenden Lichte weissliche, im durchfallenden Lichte neben der gelbgrünen Hornblende bräunlich erscheinende Epidotmasse in die zum grössten Theile noch ganz frische Hornblende ein. Diese Hornblendeindividuen, welche bei ziemlich grosser Auslöschungsschiefe (von 19°) auf der Längsfläche für a gelbliche, für c blaue Farbentöne liefern, während sie für Schwingungen parallel zu b schmutziggrün erscheinen, welche ferner polysynthetische Zwillinge aufweisen, sind dadurch bemerkenswerth, dass sie in gewissen Schnitten die Umrisse und Form von Augitquerschnitten wiedergeben.

Der Feldspath (Plagioklas) ist zumeist in Pyrophyllit und Epidot zersetzt, am Rande ist typischer Saussurit entwickelt. Ausser in den zusammenhängenden Körneraggregaten erscheint der Epidot auch in vereinzelten, zerstreuten Individuen. Locale Chloritbildung, stellenweises Auftreten von serpentinähnlicher Substanz, mit Feldspath und Epidot ausgefüllte Nester und Adern einerseits, Adern secundären Quarzes andererseits geben dem Gesteine ein etwas tuffähnliches Aussehen.

29. Südlich von Coulterville. Epidotgestein. (Epidotisirter feinkörniger Diorit.) (Tuff?)

Ähnlich verhält sich das Gestein von Coulterville. Reste von grösstentheils chloritisirter Faserhornblende mit dem Pleochroismus gelb // a und blau // c liegen zwischen dichten Körneranhäufungen und vereinzelten Krystallen, besonders nadelförmigen Individuen lebhaft polarisirenden Epidotes, die ihrerseits vielfach in ein kleinkörniges bis dichtes, verzahntes Quarzgemenge hineinragen. Vom Feldspathe, welcher grösstentheils saussuritische Zersetzung aufweist, sind nur selten einigermaassen deutliche Umrisse vorhanden; wo dies aber der Fall ist, zeigen sie die Leistenform und Anordnung diabasischer Plagioklase. Der Quarz hat secundären Charakter. Grünlichweisse, im durchfallenden Lichte dunkelgraue Flecken amorphen Titanites scheinen den Ort zu bezeichnen, wo vormals Titaneisen sich befand; andererseits sind braunrothe Zersetzungsprodukte von Pyrit und dieser selbst zu beobachten. Ob die im Gesteine beobachtete Faserhornblende ursprünglich gebildet oder selbst schon aus Augit abgeleitet sei,



Digitized by Google

wäre bei dem gegenwärtigen Erhaltungszustande desselben nicht mehr zu entscheiden. Das Ganze macht den Eindruck eines in Entstehung begriffenen Grünschiefers.

**30.** Bei Coulterville. Epidotgestein. Epidotisirter feinkörniger Diorit.

Trägt gleichfalls den Charakter eines unechten (eines im Werden begriffenen) Grünschiefers an sich und dürfte den zweifelhaften Tuffgesteinen beizuzählen sein. Epidot, theils in Körnern, mit verzahnten Quarzindividuen innig gemengt, theils in sehr lebhaft polarisirenden Krystallen, besonders Nadeln, dann in mehr geschlossene Quarzaggregate hineinragend, bilden die Hauptbestandtheile. Dazwischen bemerkt man Reste von Faserhornblende (gelb // a, blau // c gefärbt), welche zum grössten Theile selbst schon chloritisirt ist, ferner saussuritischen Feldspath mit kaum noch hie und da erkennbaren Umrissen, grünlichweisse (im gebrochenen Lichte dunkelgraue) Flecken, welche nach ihrer Anordnungsweise auf Herkunft aus Titaneisen schliessen lassen, braunrothen, zersetzten Pyrit nebst frischen Pyritresten; kurz die Verhältnisse sind denen des vorigen Schliffes ganz analog.

**31.** Mariposa, westlich von Hornitos. Hornblende- resp. Dioritporphyrit. (Wenig mächtige Lager im Schiefer.)

Aus einer feinkrystallinischen, epidotgrünen, feldspathigen Grundmasse heben sich bei makroskopischer Betrachtung des Dünnschliffes schwarzglänzende, seitlich hie und da scharf abgegrenzte Hornblendeindividuen ab, während die porphyrischen grösseren Feldspathe nicht so gut begrenzt erscheinen. Die letzteren besitzen wiederholt das Aussehen einfacher Individuen und Carlsbader Zwillinge von Sanidin; doch erweist sich der grösste Theil derselben bei genauerer Betrachtung polysynthetisch verzwillingt und nach den Auslöschungsschiefen zu schliessen, welche jene Durchschnitte ergeben, in denen Zwillingslamellen nach dem Albitgesetz und nach dem Periklingesetz in rechtwinklicher Kreuzung auftreten, dürfte man es mit einem oligoklasähnlichen oder einem zwischen Oligoklas und Albit stehenden Feldspath zu thun haben. Auch unter den kleineren Feldspathen der Grundmasse zeigen viele Plagio-

Digitized by Google

klaszwillingsstreifung; ob nebstdem orthoklastischer Feldspath vorliegt, musste unentschieden bleiben. Die Hornblendesäulen erscheinen an den Enden oft stark zugespitzt. Das sonstige Aussehen der Durchschnitte erinnert bisweilen einigermaassen an Augit; allein die Form der Querschnitte, die Auslöschungsschiefe in Längsschnitten (20° zu beiden Seiten der Zwillingsgrenze), der starke Pleochroismus a = strohgelb bis blass gelbbraun, b = schmutziggrün, c = blaugrün, lässt keinen Zweifel, dass Hornblende vorliegt. Gewisse braune Flecken, welche in dieser Hornblende auftreten, geben ihr den Anschein, als wäre sie ursprünglich braun gewesen, obwohl andere braune Flecken offenbar von der Zersetzung eingelagerter Erzpartikel herrühren. Auch in anderer Weise machen sich Umwandlungserscheinungen hier bemerkbar. Von einem im Innern noch ziemlich wohl erhaltenen Querschnitte haben sich randlich Theile losgelöst, welche ganz zu Chlorit geworden sind; an anderen Stellen ist der Rand gleichfalls ausgenagt und das Fehlende durch angelagerten Epidot ersetzt; auch feine Zoisitprismen werden an der Grenze zwischen Hornblende und Feldspath sichtbar. Sonst erscheint die Hornblende noch stellenweise ausgeblasst.

Der Chlorit, welcher hier einen ganz ähnlichen Pleochroismus besitzt wie die Hornblende (nämlich lichtgelblichgrün in der einen und tief blaugrün, und zwar verhältnissmässig dunkler noch als bei der Hornblende constatirt wurde, in der zweiten Richtung), während er zwischen gekreuzten Nicols umgekehrt blassere Polarisationsfarben liefert als jene, findet sich zumeist in feinen Blättchen, welche schaarenweise die Hornblende umfliessen, sowie in Adern und Nestern. Letzteres gilt auch von Quarz und von Epidot, welcher überdies in den winzigsten Körneraggregaten gern eine sehr innige Mischung mit dem Chlorite eingeht.

**32. Fordyce. Dioritporphyrit.**

Sehr schöne Feldspathe (durchwegs Plagioklase), namentlich von der Form länglicher Rechtecke, liegen in einer chloritisirten Grundmasse, welche auch viele kleine Biotitblättchen enthält. Lichtgrün gefärbte Durchschnitte dürften trotz ihrer eigenthümlichen Umrisse, in denen sonderbarerweise Sechs-



Digitized by Google

ecke und namentlich Achtecke sich häufig wiederholen, wenigstens theilweise auf Hornblende und zwar mit zweierlei vertikalen Pinakoidflächen zu beziehen sein; wenigstens wurde an einem solchen Querschnitte an einer bestimmten Stelle deutlichere Spaltbarkeit, genau den Winkel der Spaltrisse in Hornblendequerschnitten wiedergebend und zugleich Dichroismus (// a gelbgrün, // b schmutziggrün) gefunden, während andere Schnitte, bei ähnlichem Pleochroismus allerdings nichts von Spaltbarkeit erkennen liessen. Im allgemeinen erschien die Hornblende sonst schwächer pleochroitisch als der Chlorit, hingegen charakterisirt durch grosse Auslöschungsschiefen. In die Hornblende eingedrungen, vermuthlich secundären Ursprunges, erscheint hier der Biotit, welcher bald der Hauptaxe parallel angeordnet mitten darin auftritt, bald, bei randlicher Auflösung der Hornblendekrystalle im Gemenge mit Chlorit und Epidot auftritt. Hier, wie in den meisten Fällen, befindet sich also der (secundäre) Biotit zu der Hornblende beiläufig im verkehrten Verhältnisse wie oben in gewissen granitischen Quarzgesteinen. Der etwa auftretende Quarz ist hier secundär, das ursprüngliche Gestein wohl als quarzfrei zu betrachten. Schön pleochroitische, in ihren Polarisationsverhältnissen und Cohäsionsverhältnissen zwischen Chlorit und Hornblende stehende Chloritnester dürften aus Hornblendeanhäufungen hervorgegangen sein. Doch hat die Chloritbildung später allgemein überhand genommen und sich ausgebreitet, auch über Stellen, wo ursprünglich keine Hornblende vorlag, ist auch auf Feldspath übergegangen, während dieser selbst saussuritischer Zersetzung unterlag. Epidotkörner finden sich namentlich angeschmiegt an die Ränder der Chloritanhäufungen, von diesen zum Theile überdeckt, auch durch ihre Anordnung darauf hinweisend, dass der Ausgangspunkt der Entstehung für die Hauptmasse des Chlorites ein anderer gewesen sein musste, als für die nebenliegenden Epidote. An manchen Stellen erscheinen grössere Chlorittafeln wie aufgeblättert und ihre Enden laufen in viele nadelförmige Gebilde aus, welche wirr durch einander liegend und sich kreuzend mit Quarzkörnern Nester bilden.

Digitized by Google

**33.** Crocker Hamilton. Hornblendeporphyrit. (Gänge, zum Theile wohl auch Lager im Schiefer.)

In einer grünlichgrau durchscheinenden, aus verzahnten und verfilzten Feldspath- (Plagioklas- und vielleicht auch etwas Orthoklas-) Körnern und Leisten gemeinsam mit grünlichen Nädelchen von Hornblende und Blättchen von Chlorit gebildeten Grundmasse, an der auch noch kleine farblose Zoisitstäbchen und gelbliche Epidotkörnchen, sowie Quarz und ein farbloses Glimmermineral theilnehmen, liegen porphyrisch eingesprengte Plagioklase und Hornblendekrystalle. Die ziemlich wohl erhaltene, bei makroskopischer Betrachtung schwarze, im Schliffe braune Hornblende, mit dunkelbraunem Farbenton für Schwingungen parallel c, lichtgelblichbrauner Färbung der Schwingungen // a, ist ebenso, wie der Plagioklas auffallend langgestreckt und überdies zugeschärft, ähnlich wie man den Akmit zu sehen gewohnt ist, und erscheint an den Enden bisweilen in Nadeln aufgelöst. An Stelle des Feldspathes haben sich Zoisit-, Kaolin-, Pyrophyllitaggregate entwickelt. Auch Titaneisen und Leukoxen sind zu bemerken. Die langgestreckten Einsprenglinge sind im Durchschnitte mit ihrer Längsaxe parallel gestellt und beiläufig einer und derselben Richtung zugewendet und Gleiches gilt auch von den längeren Nädelchen in der Grundmasse und den langgezogenen, schwach gebogenen Aggregaten derselben, woraus hervorgehen dürfte, dass man es zugleich mit einer Art Migrationsstructur zu thun habe.

**34.** Cherokee. Metamorphosirter Hornblendeporphyrit oder Tuff eines solchen Gesteins.

Bei Beurtheilung dieses Gesteines ergeben sich zweierlei Möglichkeiten: Dasselbe ist entweder das Sediment eines Eruptivgesteins von porphyritischer Zusammensetzung oder es verdankt seinen klastischen Charakter einer inneren Zertrümmerung, die mit hochgradiger Umwandlung Hand in Hand ging. Der thatsächliche Befund ist der folgende. In einer feinkörnigen, hauptsächlich aus mehr oder weniger viereckigen Quarz- und Feldspathkörnern gebildeten Grundmasse treten als Einsprenglinge auf: 1) In ihren Umrissen ziemlich wohl erhaltene Plagioklase von Tafelform und Leistenform, die je-

Digitized by Google

doch nur sehr selten die Zwillingsstreifung und dann grosse Auslöschungsschiefe erkennen lassen, meist gänzlich kaolinisirt und epidotisirt erscheinen; 2) grüne stengelige Hornblende, deren Umrisse fast gänzlich zerstört sind, welche oft gleichsam zerfasert und dabei theils Chlorit, theils Biotit geworden ist, Produkte, die die Feldspathreste flasrig umziehen. Der Biotit ist ungemein feinschuppig, hat durchaus secundären Charakter, ebenso wie der Epidot und sehr blasse Hornblendenädelchen, die sich zwischen dem Quarz und Feldspath der Grundmasse finden. Bewegungserscheinungen sind vielfach sichtbar, desgleichen Sprünge und Adern, welche die Einsprenglinge durchziehen und im wesentlichen mit denselben Mineralen erfüllt sind, welche die Grundmasse zusammensetzen.

**35.** Blue Tent. Hornblendeporphyrit. (Vielleicht metamorphos. Melaphyr.) (Linsenförmige Einlagerung von Diabas im Schiefer.)

Ein porphyrisches Gestein, welches gegenwärtig nur Hornblende und Plagioklas, sowie locale Aggregate von Quarz und Hornblende als Gemengtheile enthält, die in einer im auffallenden Lichte grünlichgrauen, im durchfallenden Lichte vorherrschend bräunlichen Grundmasse liegen. Bei näherer Betrachtung gelangt man jedoch zur Vermuthung, dass ursprünglich auch Augit und Olivin vorhanden gewesen seien. Es würde aber das Gestein dann den Fall einer so weit gehenden Metamorphose repräsentiren, dass mit Ausnahme des Plagioklas von den ursprünglichen Gemengtheilen nichts mehr übrig blieb. Die Grundmasse stellt sich gegenwärtig dar als ein wirres ungemein dichtes Aggregat von winzigen Körnchen und Schüppchen (Epidot und Kaolin), feinsten, bald farblosen, bald gefärbten, schief auslöschenden Nädelchen, welch letzteren dort, wo sie bedeutendere Grösse erlangen, sich als Aktinolithe erweisen, im Querschnitte // a blass gelblichgrün, // b graugrün, im Längsschnitte // c dunkler und zwar grünlichblau gefärbt erscheinen, während bei beginnender Zersetzung gelblichbraune Färbung sich einstellt. Die Plagioklaseinsprenglinge erscheinen in Leisten- und Tafelform. Während die Umrisse noch ziemlich deutlich erhalten sind, ist der Zwillingsbau höchst selten mehr sichtbar, wobei sich im all-

Digitized by Google

gemeinen geringe Auslöschungsschiefe zu erkennen gibt, die Substanz ist vielmehr meist gänzlich getrübt und wie die Grundmasse selbst von feinem Aktinolithfilz durchdrungen. Während die Plagioklasindividuen unter den Einsprenglingen der Zahl nach bedeutend vorherrschen, werden dieselben von den im Schliffe durch dunkle Färbung weit besser hervortretenden aus Hornblendesubstanz bestehenden Einsprenglingen an Grösse übertroffen. Diese grossen Hornblendekrystalle machen mehrfach den Eindruck von Aggregaten, von Pseudomorphosen, wofür die Umrisse selbst allerdings weniger Anhaltspunkte darbieten, wohl aber ihre Structur. Obwohl ziemlich einheitlich, löschen sie doch vielfach undulös aus, zeigen weder jenen Dichroismus, den man nach dem Verhalten der kleinen Aktinolithindividuen, mit denen sie in der Färbung vollkommen übereinstimmen und durch Übergänge verbunden sind, erwarten sollte und erweisen sich auch nach ihren Cohäsionsverhältnissen, soweit diese in den Spaltrissen zum Ausdrucke kommen, nicht als compacte Individuen.

Nach dem Gesagten und dem Vergleiche mit analogen Verhältnissen in den verwandten Gesteinen der Umgegend gelangt man dahin, diese Pseudomorphosen auf Augit zurückzuführen, wenngleich dann mit Ausnahme von gewissen z. B. mitten in einer der Hälften scheinbarer Zwillingskrystalle auftretenden, durch etwas veränderte, matte Polarisation und bedeutend grössere Auslöschungsschiefe gegen die Zwillingsgrenze erst zwischen gekreuzten Nicols hervortretenden, unregelmässig begrenzten Parthien, die im gewöhnlichen Lichte jedoch von der Umgebung absolut nicht zu unterscheiden sind — keine Spur mehr davon erhalten wäre. Zu demselben Gedanken, insoferne er den secundären Charakter der aktinolithartigen Hornblende in diesem Gesteine betrifft, führen auch die oben erwähnten Quarzaggregate, die bald den Charakter von randlichen Ausfüllungen ehemaliger Hohlräume oder von Concretionen an sich tragen und in welche vom Rande her feine und gröbere Hornblendenadeln und prismatische Krystallindividuen dieses Minerales hineinwachsen. Diese Aggregate, an denen sich auch Erzpartikel, zuweilen in ausserordentlicher Menge, und ein trübes Carbonat vom Aussehen des bei Olivinverwitterung so oft beobachteten Mag-

Digitized by Google

nesites beigesellt, sind aber nicht immer rundlich oder mandelförmig, sondern erscheinen zuweilen in scharf abgegrenzten Formen mit geradlinigen Umrissen, die täuschend gewissen Olivinformen gleichen, weshalb wohl die Vermuthung sehr nahe liegt, dass man in der That Olivinpseudomorphosen vor sich hat (Taf. XVIII Fig. 6a u. b).

**36.** Westlich von Hornitos. Hornblende- resp. Dioritporphyrit.

Auf einem epidotgrün gefärbten Grunde bemerkt man makroskopisch schwarzglänzende, seitlich scharf begrenzte Hornblendenadeln, sowie Feldspathkörnchen, die sich weniger gut davon abheben. Unter dem Mikroskope erweist sich die Hornblende vorwiegend grün gefärbt, bisweilen braun gefleckt oder in Folge von Zersetzung ausgeblasst, auch wohl gefasert. Die säulenförmigen, langgestreckten Krystalle derselben sind an ihren Enden oft stark zugespitzt. Zwillinge sind häufig. Der Pleochroismus äussert sich in folgenden Farbentönen: // a strohgelb (blass gelbbraun), // b schmutziggrün, // c blaugrün. Die Hornblendeindividuen erscheinen stellenweise mit Chloritblättchen überdeckt, besonders da, wo Spuren von Pressung und Druck zu sehen sind; bisweilen, namentlich am Querschnitte, kann man die Beobachtung machen, dass randliche Parthien sich gleichsam abblättern und loslösen, die sich dann ganz wie der sonst noch vorhandene Chlorit verhalten. An den ausgebrochenen Stellen des Randes aber haben sich da, wo er angenagt erscheint, Zoisitprismen angesiedelt. Sehr kleine Epidotkörner liegen zuweilen mitten über der Hornblende auf, — im Ganzen aber ist sie im Innern meist wohl erhalten. Interessant ist die Thatsache, dass die Hornblendekrystalle öfters einseitig in Chloritfasern aufgelöst erscheinen, während umgekehrt das andere Ende, wo die Conturen gut erhalten blieben, von Schaaren loser Chloritblättchen gleichsam umflossen wird (Taf. XVIII Fig. 7). Der Chlorit ist hier nahezu gleich gefärbt, und mit nahezu gleichem Pleochroismus begabt wie die Hornblende (licht gelblichgrün in der einen, auffallend dunkel blaugrün in der zweiten Richtung) und unterscheidet sich von der Hornblende ausser durch die Cohäsionsverhältnisse und optische Orientirung hauptsächlich nur

Digitized by Google

CALIFORNIA

durch die bleicheren Polarisationsfarben zwischen gekreuzten Nicols.

Der porphyrische Feldspath ist durchwegs Plagioklas. Viele Kryställchen mit den bekannten hexagonalen, rechteckigen und quadratischen Umrissen, welche sich auf den ersten Blick als einfache Sanidinzwillinge nach dem Karlsbadergesetz darstellen, lassen bei genauerer Untersuchung wenigstens stellenweise polysynthetische Zwillingslamellirung erkennen; ihrer optischen Orientirung zufolge wären sie zwischen Oligoklas und Albit zu stellen; möglich, dass sie einem kalihaltigen Plagioklase (Anorthoklase Rosenbusch's) angehören.

Die Grundmasse des Gesteins wird hauptsächlich von einem feinkrystallinen Gemenge, meist leistenförmiger Individuen desselben Feldspathes gebildet, zwischen welchem winzige Körneranhäufungen von Epidot, sowie Aggregate von Chloritblättchen sich vorfinden und viel feine Erzpartikel (Magnetit) gleichmässig vertheilt sind. Endlich waren noch Adern und Nester von Quarz und Epidot zu beobachten.

**37.** Vier Kilometer westlich von Coulterville. Zersetzter Quarz-Dioritporphyrit (Tuff?).

Hornblendekrystalle und Fragmente liegen verstreut in einer aus verwittertem Feldspath und aus Quarz gebildeten Grundmasse. Pyrit, bisweilen mit ockriger Rinde und ziemlich grosse Apatitkrystalle treten ebenfalls daraus hervor. Die Hornblende, stellenweise ausgebleicht, zeigt folgenden Pleochroismus: // a blass strohgelb, // b blass bräunlichgrün, // c am dunkelsten, grünlichbraun. Hie und da scharf begrenzt, an anderen Stellen abgebrochen, verlieren sich die Hornblendeindividuen, bisweilen, in ein Aggregat von Chloritblättchen aufgelöst, allmählich in der Grundmasse. Der Feldspath, an welchem Zwillingsstreifung nur selten die Plagioklasnatur verräth, ist dabei stark kaolinisirt und in Zoisit verwandelt, aber auch vielfach silificirt, besonders durch Chalcedon verdrängt.

**38.** Westlich von Indian Gulch. Porphyrischer Aktinolithschiefer; vielleicht schiefrig gewordener Porphyrit.

Die vorstehende Bezeichnung soll bereits auf die eigen-

Digitized by Google

thümlichen Beziehungen hinweisen, welche zwischen Structur und Zusammensetzung dieses Gesteins bestehen. Bei makroskopischer Betrachtung stellt sich dasselbe als ein porphyrisch ausgebildetes Gestein dar, aus dessen grünlichgrauer, kantendurchscheinender Grundmasse, welche einigermaassen an gewisse Nephrite erinnert, weisse Feldspathkrystalle hervortreten, neben denen man nur mit Mühe einzelne schwärzlichgrüne Hornblendeprismen erkennt. Um so überraschender ist der Anblick unter dem Mikroskope, wo die Grundmasse sich in ein ziemlich gleichförmiges, körnig verzahntes Quarzgemenge auflöst, welches durchschwärmt wird von Magnetitoktaëderchen und Magnetitkörnern und von grünlich bis bläulich gefärbten frischen Hornblendeindividuen, welche von winziger Kleinheit allmählich bis zur Grösse der porphyrisch eingestreuten Plagioklaskrystalle sich erheben, dabei aber so vorwiegend nach einer Dimension ausgedehnt sind, dass die grössten unter ihnen zugleich eine ganz ausserordentliche Länge erreichen. Diese auffallend langen, schmalen Hornblendenadeln sind vorwiegend parallel gestellt und ertheilen dadurch im Vereine mit dem lagenweisen Wechsel gröberer und feinerer Parthien unter den Quarzkörnchen der Grundmasse und den dazwischen hinziehenden Magnetitschnüren dem Gesteine bemerkenswerther Weise eine Art Schichtung oder vielmehr Parallelstructur. Auch die wenigen im Schliffe sichtbaren Querschnitte nehmen an dieser Anordnungsweise Theil, indem ihre b-Axe in die Richtung der Parallelstructur fällt und eine Art Längsstreckung dann durch Ausbildung der Querfläche hervorgebracht wird (Taf. XVII Fig. 5). Im Gegensatze zu den vorigen Elementen sind die porphyrischen Plagioklase, welche trotz ihrer durch erdige und glimmerige Zersetzungsprodukte hervorgerufenen Trübung Zwillingsstreifung fast ausnahmslos erkennen lassen und öfters noch wohl erhaltene Umrisse besitzen, regellos vertheilt. Gleiches gilt auch von gewissen zersetzten Erzresten mit dem Habitus von Titaneisen. Umgekehrt erscheinen die Feldspathe vielfach gebrochen und verdrückt, gespalten und quergestellt zu der durch die Hornblendenadeln gegebenen Richtung. In solchem Falle gibt sich in deren Umgebung stets eine Art Migrationsfluctuation kund, indem die langen Hornblendenadeln vor den

Digitized by Google

Plagioklasindividuen sich gleichsam spalten und entweder durch eine Zone von Quarzkörnchen und Epidot davon getrennt, dieselben in kleineren Individuen umschwärmen, oder sich direkt um sie herumlagern, an sie anschmiegen, auch wohl da, wo die Plagioklase gespalten erscheinen, sich in dieselben eindrängend. Ihrer Substanz nach ist die Hornblende verhältnissmässig frisch; sie ist meistens compact und zeigt folgenden Pleochroismus: a schmutzig grünlichgelb, b dunkel bräunlichgrün, c bläulichgrün; letztere Farbe bisweilen ziemlich intensiv. Ausser der Hornblende waren, wie ich glaube, auch sehr spärliche Augitreste wahrzunehmen; ferner fanden sich Epidotneubildungen, bisweilen in grösseren Individuen, vor, sehr blasse kleine Biotitschüppchen und Zirkonkryställchen.

Es ist kein Zweifel, dass die Bildung des Feldspathes hier einer anderen Epoche angehört, als die Abscheidung der Hornblende, sowie des Quarzes und Epidotes, welch letzteren Bestandtheilen daher schon bezüglich der Bildungszeit eine Art secundärer Charakter zukommt. Für die lange Fortdauer der besonders in der Beschaffenheit des Feldspathes sich kundgebenden Bewegungserscheinungen innerhalb des in Umwandlung begriffenen Gesteines ist bezeichnend, dass auch von diesen bereits secundären Gemengtheilen manche, besonders Epidot z. B. hier selbst wieder gebogen und gebrochen, randlich zerstört und theilweise aufgelöst erscheinen.

**39.** Fordyce. Glimmerdiorit (Kersantit). (Steil eingefalteter Dioritzug im Granitterrain.)

Plagioklas in tafeligen Krystallen von jener Form, wie sie porphyritischen Gesteinen besonders eigenthümlich sind und feinschuppiger, strohgelb bis schmutzig (grünlich) braun pleochroitischer Biotit machen die Hauptgemengtheile aus. Sonst macht sich nur noch ein sehr hellgrünes bis blaugrünes Mineral in feinen Nadeln und unregelmässig begrenzten, ausgefransten Säulchen und Körnern bemerkbar, welches auch in der Polarisation vom Biotit etwas abweicht, in manchen Parthien einem Pilit oder einer Faserhornblende gleichkommt, in anderen (mitten zwischen Biotit und Feldspath) sich wie Chlorit verhält. Auch Zirkon wurde als Einschluss im Feldspathe bemerkt. Der Biotit umzieht in kleinen und kleinsten

Digitized by Google

Blättchen bald kranzförmig die Feldspathe, die Umrisse derselben wenigstens beiläufig wiederholend, wofern die Feldspathe mit ihren Kanten aneinander liegen, bald häuft er sich zu einer Art Zwischenklemmungsmasse zwischen den dadurch porphyrisch hervortretenden Feldspathen an. Das Ganze gewinnt ein sandsteinähnliches Aussehen dadurch, dass die Umrisse der Feldspathe fast nie scharf, sondern meist wie ausgenagt erscheinen, hie und da deutlich abgebrochen sind, wiewohl äusserst selten zu einander gehörige Bruchstücke nebeneinander sich finden und weil sie local zwischen ungemein feinkörnigem Biotit-Quarzgemenge sich verlieren. Im Innern sind die Feldspathe jedoch verhältnissmässig frisch, zeigen auch dann, wenn sie mit jener, den Feldspathen diabasischer Gesteine z. B. so häufig eigenen, schwachen, bräunlichen Trübung versehen sind, sehr deutliche Zwillingsstreifung, häufig Zwillingsbildung nach dem Periklingesetze und Auslöschungsschiefen, welche auf einen Andesin oder Oligoklas ähnlichen Feldspath hindeuten.

**40.** Hamilton. Kersantit mit Biotit, Quarz, Hornblende, Epidot.

Das Gestein stellt gegenwärtig ein gleichförmig körniges Gemenge dar, welches hauptsächlich aus Biotit, Quarz und Epidot besteht. Allein dazu gesellen sich noch Hornblendereste — und, wiewohl sehr undeutliche, Feldspathreste, so dass man zur Vermuthung kommt, dass das gegenwärtige Aussehen des Gesteines weder die ursprüngliche Structur, noch Zusammensetzung desselben widergibt. Die zumeist in nadelförmiger Gestalt oder in lang prismatischer Form erscheinende lichtgrüne, gelblich blassgrün und bläulich pleochroitische Hornblende ist mit den zum Theile fast farblosen, zum Theile licht bis dunkel röthlichbraun dichroitischen Biotitblättchen innig verwachsen. Oft ist das eine Ende brauner Biotit, das andere ist als grüne Hornblende entwickelt, wobei der Biotit sich allmählich und allseitig in die Hornblende verliert; beide dürften daher wohl in genetischen Beziehungen zu einander stehen.

Da überdies die Quarzepidotaggregate zumeist die Zwischenräume zwischen den Hornblendekrystallen ausfüllen, so würde

Digitized by Google

das auf ursprünglich diabasähnliche Structur schliessen lassen. Unter der Annahme, dass wenigstens Quarz und Epidot sicher secundär und zwar nach Plagioklas gebildet sind, hätte man es hier mit einem veränderten Kersantit zu thun. Bemerkenswerth ist endlich der reiche Erzgehalt des Gesteines. Zwischen bräunlichgrauen Körneraggregaten von Epidot liegen ausgelappte Magnetite, Magnetkies und Pyritkörner.

**41.** Hamilton. Diallag-Quarzkersantit. (Gangförmig im Schiefer.)

Ein schönes, besonders durch das Aussehen und optische Verhalten des, einen Hauptbestandtheil davon bildenden Pyroxenminerales interessantes Gestein. Der Pyroxen tritt hier in rundlichen Körnern und prismatischen Individuen auf; aber auch die letzteren entbehren in der Regel scharfer geradliniger Umrisse, sie sehen vielmehr wie angefressen, abgeschmolzen oder randlich zerbröckelt aus; im letzteren Falle erscheinen sie von regellos gestalteten und gelagerten Körnern kranzförmig umgeben, welche mit kleinkörnigen Quarz- und Feldspathbrocken innig gemengt sind. Dabei ist das Mineral entweder nahezu farblos oder mit jenen für gewöhnlichen Augit charakteristischen schwach grünlichen, schwach violetten bis bräunlichrothen Farbentönen versehen; ausserdem gibt es aber auch Durchschnitte, welche in Folge einer feinen kurzen Faserung und in ihrer Färbung einem Enstatite vollständig gleichen; noch andere endlich zeigen jene für Diallag charakteristische gröbere Streifung. Die erstgenannten Durchschnitte liefern bei schiefer Auslöschung lebhaft rothe und grüne Polarisationsfarben, die zweite Art zuweilen recht schwache Polarisationsfarben und meist gerade Auslöschung, die letzteren immer stark schiefe Auslöschung. Dass Diallag und überhaupt ein monokliner Augit im Schliffe sicher vorhanden ist, lässt sich an den Querschnitten, welche bei rechtwinklicher Spaltbarkeit nach den Prismenflächen und einer die vorige halbirenden Spaltbarkeit nach der Längsfläche ein doppeltes Streifensystem von einer theils der Längs-, theils der Querfläche parallelen Faserung aufweisend, nahezu senkrechten Austritt einer optischen Axe erkennen lassen, mehrfach constatiren sowie an Längsschnitten, wo bei ein-

Digitized by Google

facher Zwillingsbildung nach 100 beide Zwillingshälften unter 40° gegen die Grenzlinie auslöschen, wo ferner ausser den verticalen Spaltrissen mitunter noch das für Diallag so charakteristische, der jeweiligen Endfläche parallele, dunkel markirte Streifensystem deutlich wahrzunehmen ist; ob nebst dem monoklinen auch ein rhombischer Pyroxen vorliegt, bleibt hingegen zweifelhaft.

Sehr lehrreich in optischer Beziehung sind zwei am Rande des Schliffes gelegene mit ihren zur Verticalaxe parallelen Seiten unmittelbar aneinander grenzende, auffallend breite Durchschnitte von etwas gerundetem Umriss. Beide sind im gewöhnlichen Lichte bezüglich ihrer Färbung, Cohäsionsverhältnisse und Structur kaum von einander zu unterscheiden; insbesondere die Faserung liegt in beiden genau parallel; sie erscheinen ferner beide farblos, local etwas bräunlich, besitzen sehr unvollkommene Spaltrisse, welche im einen ca. 118°, im andern ca. 124° einschliessen und eine dieselben halbirende feine Faserung mit vereinzelten ziemlich scharfen aber etwas gekrümmten Rissen parallel zu dieser Faserung, die ausserordentlich an Enstatit erinnert. Im parallelen polarisirten Lichte löschen beide fast genau gleichzeitig aus und zwar parallel zur Faserung (Längsrichtung), zeigen aber sehr verschiedene Polarisationsfarben. Der eine Schnitt (A) liefert bleiche Farbentöne, etwa wie ein Enstatit, der andere (B) rothe und grüne, wie sonst noch im Schliffe der typische Diallag. Interessant ist das Ergebniss der Untersuchung im convergenten Lichte. Aus dem Interferenzbilde, welches man erhält, geht hervor, dass A fast genau senkrecht zur positiven ersten Mittellinie, B ungefähr senkrecht zur negativen zweiten Mittellinie getroffen ist. In beiden Fällen geht die Axenebene der Faserung parallel; im ersten erreichen die Axenpole gerade ungefähr den Rand des Gesichtsfeldes (mit Apertur ca. 80°), im zweiten liegen sie weit ausserhalb und sind die Interferenzcurven weit verschwommener, die Farbentöne aber so ziemlich dieselben wie im vorigen Schnitte. Die Axenebene steht in beiden Fällen senkrecht zur Schliffebene, die Mittellinien sind gleichsinnig schwach zur Plattennormale geneigt. Das Beobachtungsresultat lässt sich nicht besser erklären als durch die Annahme, dass hier zwei nach dem Ortho-

Digitized by Google

pinakoide symmetrische Zwillinge nicht, wie gewöhnlich, nach dieser Ebene, sondern nach einer anderen Fläche der verticalen Prismenzone aneinander gewachsen sind, wobei die in Rede stehenden ungefähr 45° gegen die Verticalaxe geneigten, entgegengesetzten Seiten der Zone 001/100 angehörigen Schnitte nebeneinander zu liegen kamen. Die Substanz des Augitminerales ist nur selten rein, zumeist mit rundlichen Körnern, zackigen und schlauchförmigen Gebilden mehr oder weniger angefüllt, welche bald dem Wirthmineral in Aussehen, Farbe und Doppelbrechung gleichen, bald lebhaft polarisiren, bald sich isotrop verhalten, bald gar nicht auslöschen, bisweilen Glaseinschlüssen mit Libellen gleichen.

Als zweiter Hauptgemengtheil ist der gelblich bis dunkelrothbraun pleochroitische Biotit zu nennen, welcher nach seiner Farbe auf Titangehalt schliessen lässt, in ziemlich grossen (bis sehr feinen) unregelmässig ausgelappten Blättchen und leistenförmigen Individuen auftritt und merkwürdiger Weise mit dem Augitmineral sehr häufig eine Art gesetzmässig orientirter Verwachsung eingeht, derzufolge die Glimmerblättchen um die Querschnitte der Augite herum so angelagert und angeschmiegt erscheinen, dass ihre vollkommene Spaltbarkeit der feinen Faserung, und zwar der Querfläche des Augites parallel verläuft (Taf. XVIII Fig. 8). Auch das Glimmermineral ist reich an verschiedenen Einschlüssen, besonders an nadelförmigen, von denen einige Apatit sein dürften.

Wasserklarer Plagioklas, mit schöner, vielfach wiederholter Zwillingsstreifung, in Leistenform, hexagonaler Tafelform mit Zonalstructur und in Form von quadratischen und rechteckigen Durchschnitten, wirr durch einander gelagert, gleichfalls in grosser Menge vorhanden — ergibt besonders in charakteristischen Durchschnitten, welche Lamellen nach dem Periklingesetz enthalten, optische Verhältnisse, wie sie für Labradorit geradezu typisch sind und enthält interessante Einschlüsse, die bei weitem nicht alle sicher bestimmbar sind. Nebst Augit und Biotit umschliesst er sicher noch Apatit und Zirkon; gewisse spindelförmige Einschlüsse geben dem Feldspathe bei nahezu paralleler Lagerung und unzähliger Wiederholung gelegentlich mikroperthitisches Aussehen; daran an-

Digitized by Google

schliessend entwickelt sich stellenweise eine Art Mikropegmatit und chalcedonartige Quarzabscheidung.

Es bleibt noch der Quarz zu erwähnen, welcher so zu sagen die zwischen den übrigen Gemengtheilen freigebliebenen Zwischenräume ausfüllt, an Menge den übrigen Gemengtheilen wenigstens nahezu gleichkommt, zuweilen auch an Grösse, wiewohl dieselbe sehr variirt. Das Interferenzkreuz im convergenten polarisirten Lichte, wenn auch zuweilen etwas gestört, ist öfters deutlich wahrnehmbar. An Einschlüssen enthält er alle die bereits genannten Gemengtheile und erweist sich auch so als der zuletzt gebildete Bestandtheil. Ausserdem treten noch sehr feine, unbestimmbare Nadeln und Körner in ungeheurer Menge local darin auf und neben Zirkon noch andere Kryställchen von etwas weniger starker Lichtbrechung, rhombischem Querschnitte und Combinationen, die manchmal täuschend diejenigen eines Topases nachahmen.

**42.** Blue-Tent-Cherokee. Syenitischer Diorit mit viel Augit. Nach Reyer im Contact mit Feldspathsandstein (metamorphen Syenittuffen?).

Der Ausbildungsweise nach ähnelt dieses Gestein den Dioriten, der Orthoklas- und Glimmergehalt verweist es in die Nähe von Syenit. Gleichzeitiger Reichthum an Augit wie an Hornblende lässt es als Zwischengestein zwischen Diabas und Diorit erscheinen. Als Gemengtheil treten auf:

Zweierlei Feldspathe, schon durch die Brechungsverhältnisse verschieden. Der eine findet sich zumeist in Karlsbader Zwillingen, ist wahrscheinlich Orthoklas, der andere, ein feingestreifter Plagioklas ist oft mit dem vorigen verwachsen oder in ihm eingeschlossen. Der Orthoklas zeigt optische Anomalien im Zusammenhange mit Erscheinungen des Druckes. Beide Feldspathe variiren in der Korngrösse ausserordentlich und bilden schliesslich mit wenig Quarz, welcher hier im Ganzen secundären Charakter hat, in pegmatitischer Ausbildung eine mikrogranitische Grundmasse. Unter den grösser entwickelten Gemengtheilen tritt der Quarz nicht auf. Dagegen finden sich darunter namentlich Augit, ferner Hornblende und Biotit, und zwar die letzteren in ungefähr gleicher Menge. Der Biotit erscheint bei Schwin-

Digitized by Google

gungen parallel zur Basis dunkelbraun, senkrecht dazu lichtgelbbraun. Die licht- bis dunkelgrüne Hornblende ist mit dem blassbräunlichen Augit oft verwachsen, wobei der Augit meist innen erscheint. Im allgemeinen besitzen die Augitkrystalle hier bessere Umrisse, als die Hornblendeindividuen. Apatit und Zirkon treten als Einschlüsse in den genannten Mineralen auf. An solchen sind besonders reich die Feldspathe, in denen z. Th. Apatit, z. Th. Körner aller übrigen Bestandtheile sich vorfinden, wie Augit, Hornblende und Biotitblättchen. Im Augit umgekehrt finden sich auch wieder Hornblende und Biotit. Einige der Einschlüsse im Feldspath sind mit Libellen versehen.

**43.** Bei Finey (Monneys Flat). Diabas (uralitisirt). Bei makroskopischer Betrachtung des Schliffes heben sich aus einer grünen Grundmasse graue, nicht sehr scharf begrenzte und nahezu farblose Krystalle mit besseren Umrissen porphyrisch ab. Die ersteren erweisen sich unter dem Mikroskope als ein Plagioklas, welcher mit einer trübgrauen, undurchsichtigen, feinen Körnermasse bald zonenförmig, bald wolkenartig erfüllt und mit unregelmässigen Muscoviteinlagerungen derart versehen ist, dass die ursprünglich wasserklare Substanz nur hie und da noch durchleuchtet, selten frei da liegt, während die letzteren Krystalle unter dem Mikroskope einen schwach gelblichen Farbenton erhalten und dabei jene schilfrige Oberfläche zeigen, welche ebenso sehr für Bronzit, wie für Diallag charakteristisch ist und auch im Aussehen ihrer Querschnitte (durch Faserung und Querrisse senkrecht dazu, Unvollkommenheit der Prismenspaltbarkeit) ausserordentlich an beide erinnern. Die Beobachtungen im polarisirten Lichte, namentlich auch die Farbentöne der Interferenzcurven im convergenten Lichte, Nachweis von Zwillingsbildung nach dem Orthopinakoid entscheiden zu Gunsten monoklinen Augites respective des Diallages. Bei näherer Betrachtung findet man, dass die grossen porphyrischen Plagioklase nur das Anfangsglied einer fortlaufenden Krystallisation sind, welche in Ausscheidung sehr winziger Individuen ihr Ende nahm und ebenso sind auch Augite in allen Grössen vorhanden. Es zeigt sich ferner, dass die meisten Augite der „Grundmasse“ (wenn



Digitized by Google

dieser Ausdruck erlaubt ist) gänzlich in Uralit verwandelt sind, so zwar, dass das Gestein dadurch stellenweise ein reiner Uralitfels geworden ist, und dass die grossen Individuen eben nur wegen ihrer Grösse dem gleichen Schicksale noch theilweise entgingen, wiewohl auch sie randlich mit Uralitsäumen mehrfach umgeben sind.

Es ist der vorliegende Schliff für das Studium stufenweisen Fortschreitens des Uralitisirungsprocesses ganz besonders geeignet. Der vordringende Uralit markirt unter anderm die verschiedenen, sich an den Krystallen vorfindenden Spaltensysteme, man bemerkt zugleich, dass die Spaltrisse (wohl durch einseitige Pressung) öfters sehr einseitig hervorgerufen wurden, man sieht Druckerscheinungen, Verschiebungen, wiedergegeben durch den Verlauf der Uralitisirung und in einem wenig polysynthetischen Augitzwilling, auf der Längsfläche (Taf. XVIII Fig. 9a u. b) hat auch der nachgebildete Uralit polysynthetische Zwillingsbildung u. zw. in viel höherem Maasse und feinerer Wiederholung angenommen als das ursprüngliche Mineral, um welches sich an der noch frisch gebliebenen unteren Hälfte wenigstens ein Uralitsaum herumzieht. Die Auslöschung der ursprünglichen Augitzwillingslamellen wurde in einem solchen Falle zu 36° einerseits und 42° andererseits und in den entsprechenden Hornblendestengeln zu 13° und 17° gemessen, im Einklange mit der parallelen Orientirung beider Minerale. Sehr schön sind hier folgende ganz bestimmte Phasen des Uralitisirungsprocesses wahrzunehmen: Zuerst entsteht ein schwach bräunliches bis gelblich braunes bronzitähnliches Faseraggregat, vom Rande her oder auf Querspalten sich entwickelnd, und dieses geht sodann nach aussen zu in entschieden blaugrüne, pleochroitische Hornblende über. Der halb umgewandelte Augit ist es, welcher eben das Diallag-ähnliche Aussehen hat.

Bemerkenswerth sind noch die charakteristischen Durchschnitte von Titaneisen, wovon aber nur noch geringe Reste übrig sind, da dasselbe grösstentheils in Leukoxen umgewandelt ist, welcher auch weiterhin, von dem Orte seiner Entstehung entfernt, sich ausgebreitet und häufig über zersetztem Feldspath sich abgesetzt hat. Sehr schön ist ein rhomboidisches Täfelchen z. B. zu sehen, dessen concentrischer wasser-

Digitized by Google

klarer Kern Plagioklas, dessen trübe Hülle Leukoxen ist. Dass auch gelblichgrüner Epidot, besonders in feinfasrigen radialstrahligen Aggregaten nicht ganz fehlt, wird nicht sehr wundern, ebenso wenig wie die Thatsache, dass chalcedonartige Quarzaggregate die feinsten Zwischenräume und Adern ausfüllen, in welche die Hornblende in Form charakteristischer, typischer Pilitbüschel auszustrahlen pflegt.

**44. Limekiln.** Uralitisirter Diabas oder Gabbro, jetzt Hornblendefels.

Das Gestein vom obigen Fundorte müsste seiner gegenwärtigen Zusammensetzung nach geradezu als Hornblendefels bezeichnet werden, insoferne es fast ausschliesslich aus diesem Minerale besteht, wenn nicht auch hier die Hornblende sich als Uralit erweisen liesse. Die kleine, dem Schliffe beigegebene Gesteinsprobe ist offenbar von einem an der Aussenseite verwitterten Blocke abgeschlagen. Die frische Innenseite besitzt eine grau- bis schwärzlichgrüne Farbe und aus einer feinkörnigen bis dichten Grundmasse sieht man im reflectirten Lichte die Spaltflächen grüner Hornblendeindividuen (bald einzeln porphyrisch eingesprengt, bald selbst zu gröberkörnigen Parthien vereinigt) durch ihren Glanz hervortreten. Dazwischen finden sich reichlich Pyritkörnchen. Die verwitterte Aussenseite erscheint mit einem lichtgelbgrünen Staube überzogen, welcher beim Ritzen ein bläulichweisses Pulver gibt und wohl grösstentheils aus einem Gemisch von Epidot und Chlorit besteht; darauf liegen, wie darüber gestreut, seidenglänzende Krystallindividuen, welche bei sorgfältiger Prüfung ergaben, dass die an ihnen entwickelten Prismenflächen mit der Lage der Spaltflächen nicht coincidiren. Der allgemeine Habitus sprach bereits für Augit; jeden Zweifel beseitigte ein glücklicherweise mit verhältnissmässig glatten Flächen versehenes Individuum, welches heruntergebrochen und vertical gestellt, bei Betrachtung unter dem Mikroskope den charakteristischen achtseitigen Umriss und Augitwinkel ergab. Der Schliff zeigte sich, wie zu erwarten, erfüllt mit typischer Faserhornblende von grünlicher Farbe, und zwar a fast farblos bis gelbgrün, b dunkler lauchgrün, c blaugrün. Die Abkunft von Augit war hier noch schwieriger zu erweisen als



Digitized by Google

makroskopisch, da sich der Augit überhaupt nur in sehr geringer Menge in vereinzelten, unregelmässig gestalteten Überresten von der Form ausgezackter und solcher Körner, wie sie der Olivin im Serpentin gern zurücklässt, im Innern der grössten Krystalle vorfand, während die kleineren Krystalle schon gänzlich umgewandelt und dabei theilweise auch ihrer Umrisse verlustig gegangen sind; doch waren trotzdem vereinzelte Querschnitte von typischer Augitform darunter noch zu entdecken. Diese secundäre Hornblende zeigt wieder mitunter polysynthetische Zwillingsbildung. Aber auch der ursprüngliche Augit trat offenbar bereits in Zwillingen auf. Ein solcher Zwilling (Taf. XVIII Fig. 10) bringt die interessante Thatsache zur Darstellung, dass parallel zu den Seitenflächen des Zwillingskrystalles und zwar senkrecht zur Zwillingsgrenze ein Riss sich gebildet hat und die so entstandenen Hälften des Zwillings längs dieses Risses aneinander verschoben wurden, so, dass die Trace der Zwillingsfläche dadurch gleichsam verworfen erscheint. Die Hornblendeindividuen finden sich in allen Grössen, zuletzt als ziemlich feiner Filz, zwischen welchem schliesslich Anhäufungen von Epidotkörnern, zersetzte Erzpartikel oder etwas Titanomorphit (resp. Titanit), gelblichrothe Rutilnädelchen, Magnetkies, Pyrit und amorpher Quarz (in ausserordentlich geringer Menge) mit Mühe zu erkennen sind.

Feldspath war merkwürdigerweise nirgends mit Sicherheit zu erweisen; gewisse Durchschnitte, welche ich für Reste davon halten möchte, waren ebenfalls von winzigen Hornblendenadeln ganz durchdrungen und davon und von Epidot schwach grünlich gefärbt, möglich, dass der Feldspath gerade dadurch sich der Aufmerksamkeit grösstentheils entzog.

Bemerkenswerth erscheint noch, dass die Hornblende hier stellenweise in grösseren Nadeln auftritt an einem Orte, der offenbar mit dem ursprünglichen Ausgangspunkte dieser Hornblendebildung, den Augiten, nichts mehr zu thun hat, indem sie, eine Art Drusenbildung darstellend, mit dem einen Ende auf einem sehr feinkörnigen Hornblendeepidotaggregat aufsitzend, mit ihrem anderen Ende scheinbar in Höhlungen hineinragen. Diese Nadeln (mit Hornblendequerschnitt) gleichen in ihrer Farbe durchaus dem früher beschriebenen Uralit.

Digitized by Google

Thatsächlich mögen das auch ursprünglich Höhlungen gewesen sein und zwar solche, die nach der Zersetzung eines weiteren ehemaligen Gemengtheiles und gänzlicher Wegführung von dessen Substanz zurückgeblieben; gegenwärtig sind sie mit einer farblosen, wasserklaren, grauweiss polarisirenden Substanz erfüllt, deren Natur sich hier nicht bestimmen liess. Manche dieser ausgefüllten Höhlungen ahmen im Umrisse zugespitzte Olivinformen nach. Möglich, dass das ursprüngliche Gestein porphyrisch war; jedenfalls war es hauptsächlich ein Augitgestein.

**45.** Bach östlich von Quarzburg (bei Hornitos). Diabasporphyrit.

Porphyrisch entwickeltes Gestein. Die gleichartigen Bestandtheile der Grundmasse und unter den Einsprenglingen bieten jedoch ausser der Grössenverschiedenheit keinen wesentlichen Unterschied dar. Als Einsprenglinge erscheinen neben sehr grossen, mit charakteristischen, oft reihenweise angeordneten, mikrolithischen Einschlüssen versehenen Plagioklasen Augit- und Hornblendeindividuen einerseits, Verwachsungen von beiden andererseits. Die letztgenannten Elemente besitzen im allgemeinen Körnerform, der Plagioklas hingegen eine ausgesprochene Krystallform (Tafeln und Leisten) und Gleiches gilt auch von der Ausbildung in der Grundmasse, wo die Augite als Zwischenmasse zwischen den mehr oder weniger leistenförmigen Feldspathen liegen, daher deren Structur eine echt „diabasisch körnige" zu nennen ist.

Der Plagioklas, dessen z. Th. regelmässig, der Längsfläche parallel eingelagerte Einschlüsse vormals einem rhombischen oder monoklinen Augitminerale angehörten, ist mit einer grossen Auslöschungsschiefe, und zwar entsprechend einem Bytownit, begabt und stellenweise mit Anhäufungen einer im auffallenden Lichte weissen, im durchfallenden Lichte bräunlichen Körnermasse erfüllt. An jenen Stellen erscheint er gewöhnlich auch gesprungen und zerdrückt und die so entstandenen Risse sind es, nach denen die genannten Verwitterungsprodukte sich weiter ausgebreitet haben. In der Grundmasse erscheinen die Ränder der Plagioklasleisten vielfach wie abgenagt und zerfressen, als wären sie einer theil-

Digitized by Google

weisen Auflösung unterlegen. Das gilt besonders von den Stellen, wo Uralitsubstanz angrenzt, während sich neben frischerem Augit auch die Umrisse der Plagioklase besser erhalten haben. Aber auch in den kleinsten Individuen finden sich häufig deutliche Zwillingslamellen. Von den oben besprochenen, grünlichen bis bräunlichen, schief auslöschenden Einschlüssen der porphyrischen Plagioklase sind einige wohl ursprünglich, andere sicher secundär und zwar dürften sie bei dem Processe, welcher die Plagioklase ihrer scharfen Umrisse beraubte (durch Einschmelzung oder Zersetzung) entstanden sein. Angesichts der früher erwähnten localen gänzlichen Zerstörung der Feldspathsubstanz muss man sich wundern, dass im übrigen die grossen wie die kleinen Plagioklasindividuen hier, wie schon das optische Verhalten der wohlerhaltenen Zwillingslamellen beweist, substantiell wenig verändert sind und nur durch jenen unendlich feinen Staub schwach getrübt erscheinen, welcher für Plagioklase der Diabase so charakteristisch ist.

Der Augit, stellenweise schwach röthlichbraun gefärbt, wird durch Zersetzung nach zwei Richtungen hin verändert, indem er hie und da eine grünliche, andererseits (im Zusammenhange mit Erzverwitterung) eine dunklere Färbung annimmt, dann fein gestreift und gestrichelt erscheint, wie typischer Diallag. Er bietet ausnahmslos sehr schlechte Umrisse dar.

Die Hornblende, durchwegs sehr blass gefärbte Faserhornblende mit dem Pleochroismus // a gelblichweiss, // c grünlich, // b am dunkelsten, bräunlich, tritt zuweilen in einfachen Zwillingen mit zahnartig ineinander greifender, schief verlaufender gegenseitiger Abgrenzung auf (Taf. XX Fig. 10′). Sehr häufig ist ein unregelmässiger Augitkern mit einer ebenso unregelmässig begrenzten Hornblendehülle umgeben; zuweilen wiederholt die Hülle wenigstens beiläufig die Form des Kernes und geht local in eine feine Mischung beider Substanzen über, ein weiterer Beweis für die genetischen Beziehungen beider Minerale auch im vorliegenden Falle.

**46—48.** Zwischen Pino Blanco und Herbeck (im grossen Dioritzug von Coulterville). (In der anstossenden Schieferzone finden sich quarzitische Feldspathsandsteine.)

Digitized by Google

Es liegen 3 Proben von diesem Fundorte vor (46, 47, 48). Alle stammen von porphyrischen Gesteinen. Die Schliffe 46 und 47 sind einander überdies sehr ähnlich, 48 enthält ungefähr dieselben Bestandtheile, wie die beiden vorigen, aber in einem ganz anderen Mengenverhältnisse.

**46.** Diabasporphyrit. Aus einer sehr feinkörnigen Grundmasse, welche sich als ein Gemenge von saussuritischer, epidotisirter (daher im auffallenden Lichte gelbgrün gekörnelt erscheinender) Feldspathmasse mit Chloritblättchen und Chalcedon erweist, treten zunächst grössere Chloritanhäufungen (von Grengesit- oder Delessit-ähnlicher Structur) von spangrüner Färbung, schwachem Pleochroismus, sehr dunklen, schwarzblauen, bis violblauen Polarisationsfarben, helminthartiger und radialstrahliger Aggregation der einzelnen Blättchen hervor, bald rein, bald mit ebenfalls fasrig stengeligem Pyrophyllit gemischt, welche Chloritanhäufungen bisweilen rundliche Formen besitzen, in welche dann vom Rande her, wie in einen Hohlraum, einzelne noch besser erhaltene Feldspathleisten und rhomboidische Krystalle von Feldspath mit abgerundeten Ecken und Kanten[1] hineinragen, während in der nächsten Umgebung die Feldspathe, wie gesagt, gänzlich zerstört sind, so dass von den ursprünglichen Individuen dort nichts mehr zu erkennen ist. Ausserdem bemerkt man dann noch vereinzelte grössere porphyrische Plagioklase, deren Umrisse jedoch erst im polarisirten Lichte, in Folge der Zwillingsstreifung (welche die zusammengehörigen Theile besser erkennen lässt) aus der gleichförmig gekörnelten Masse schärfer hervortreten, und grössere Chloritmassen, die vermöge ihrer krystallinischen, geradlinigen Umgrenzung sich als Pseudomorphosen darstellen und mit kranzförmigen Epidotanhäufungen versehen sind.

Die Structur dieser Chloritpseudomorphosen ist die oben bereits beschriebene; sie bestehen meist aus einer Anhäufung von radialstrahligen Kügelchen; manchmal sind jedoch die

[1] Ganz ähnlich wie in 45 in der Grundmasse, nur dass im vorliegenden Falle Zwillingsstreifung fast gar nie wahrgenommen wurde, daher die Bestimmung als Feldspath etwas Schwierigkeiten machte und sich zum Theil auf diese Analogie stützen musste.

Digitized by Google

Chloritblättchen helminthartig aneinandergefügt; manchmal erinnert ihre Anordnung an gewisse Umwandlungsvorgänge in Olivinen. Immer ist die Aufhellung zwischen gekreuzten Nicols eine sehr geringe; manchmal verhält sich die Substanz fast isotrop, wie mancher Serpentin. Aus der Form lässt sich kein ganz bestimmter Schluss auf die Provenienz dieser Pseudomorphosen ziehen; denn dieselbe erinnert sowohl an Olivin (allerdings selten) als an Hornblende, besonders aber an Augit. In dieser Beziehung ist es aber auffallend, dass als weiterer porphyrischer Bestandtheil, welcher unter den grossen Einsprenglingen bei weitem vorherrscht, hier noch Augit zu nennen ist, in scheinbar ganz frischen unversehrten Krystallen. Bei näherer Betrachtung zeigt sich freilich, dass die vollkommen frische Augitsubstanz hier eigentlich farblos ist und die meist schwach gelbliche Färbung, die der grösste Theil der Augite bereits angenommen hat, von beginnender Zersetzung herrührt; in diesem Zustande haben die Augite ganz die Färbung und das Ansehen von Epidot und fehlt nur die diesem eigenthümliche Absorptionsverschiedenheit und der Pleochroismus (wofern die Schnitte nicht etwa durch Augitspaltbarkeit charakterisirt sind).

Auch finden sich im Augite selbst stellenweise Augitnester. Wenn man geneigt ist, die Chloritpseudomorphosen nicht von Olivin oder Hornblende, sondern von Augit hier abzuleiten, so müsste man zugleich annehmen, dass in der fortschreitenden Weiterentwickelung des Gesteines eine Art Recurrenz insoferne eingetreten sei, als die bereits begonnene Umwandlung des Augites stellenweise wieder rückgängig gemacht wurde. Aus dem Vergleiche mit der Probe 48, wo Augit selbst direkt in Chlorit und Chalcedon umgewandelt erscheint, ergibt sich die Auffassung, dass auch hier hauptsächlich nur Augit vorlag, dass aber die Zersetzung bloss fleckenweise erfolgte.

Der frische Augit zeigt deutliche polysynthetische Zwillingsbildung. Ausser in den oben angeführten Chloritpseudomorphosen tritt Chloritsubstanz auch in Adern und Trümern auf, welche, den ganzen Schliff durchziehend, manchmal auch die Augite durchqueren. Diese Adern sind senkrecht zur Umrandung gefasert und ihre Chloritsubstanz zeichnet sich gegen-

Digitized by Google

über der übrigen durch starken Pleochroismus aus und zwar blaugrün bis dunkelspangrün parallel, und licht grünlichgelb senkrecht zur Faserung. Das Erz zeigt hier häufig sehr lebhaft polarisirende parallele Umrandung vermuthlich von Titanit.

**47.** Hier herrschen ganz ähnliche Verhältnisse. Nur sind die Chloritpseudomorphosen hier noch besser umrandet als im vorigen Falle, aber von ebenso unbestimmbarer Provenienz. Auch hier setzen Chloritadern quer durch die noch ziemlich frischen Augite; manchmal sind aber die Chloritaggregate, die Umrisse ergänzend mit Augitfragmenten verwachsen. Mitten im Chlorit tritt secundärer Quarz auf. In den porphyrischen Plagioklasen ist bisweilen trotz aller Trübung und Körneranhäufung die Zwillingsstreifung noch deutlich zu erkennen. Eine Tafel, welche nach dem Umrisse von den Tracen der Flächen P, x und y begrenzt und selbst der Längsfläche parallel war, ergab $-9^0$ Auslöschungsschiefe entsprechend einem Andesin. Der Augit erscheint hier insoferne in eigenthümlicher Krystallgestalt (reichhaltigerer Combination als gewöhnlich), als auch solche Schnitte, welche, nach Spaltrissen und Auslöschungsschiefe zu schliessen, beiläufig der Prismenzone angehören, achteckige Umrisse sehr häufig wahrnehmen lassen.

**48.** Augitporphyrit. Zeichnet sich vor den beiden früheren durch seinen Feldspathreichthum aus. Die Einsprenglinge sind vorherrschend ein Plagioklas, mit ziemlich gut erhaltenen Umrissen und ziemlich deutlicher, sehr mannigfaltiger Zwillingsstreifung; die Grundmasse besteht gleichfalls zum überwiegenden Theile aus Feldspath, welcher hier in sehr schmalen Leisten, respective feinen Nadeln auftritt, an denen Zwillingsstreifung nicht sichtbar ist. Ob der Feldspath der Grundmasse gleichfalls Plagioklas ist, wäre daher schwer zu entscheiden; jedenfalls gehört er dann einer Mischung mit sehr geringer Auslöschungsschiefe an. Hier in der Grundmasse liegen auch viele Erzkörnchen eingestreut, sowie Epidotkörner und sparsame Chloritblättchen, beide wohl als Zersetzungsprodukte. Die Grundmasse hat weder gegenwärtig

Digitized by Google

diabasische Structur, noch scheint sie eine solche im strengen Sinne je besessen zu haben und da auch unter den Einsprenglingen Augitkrystalle in verhältnissmässig geringer Zahl auftreten, so scheint mir die Bezeichnung als Augitporphyrit auf dieses Gestein besser angewendet als die Bezeichnung Diabasporphyrit. Der porphyrische Augit, beim Schleifen leicht herausfallend, weil auffallend stark von Rissen durchzogen, ist verhältnissmässig frisch, jedoch im gewöhnlichen Lichte vom bereits stärker angegriffenen Plagioklas kaum zu unterscheiden; erst im polarisirten Lichte treten die lebhaft polarisirenden Augitkrystalle zwischen den grau polarisirenden Feldspathen deutlich hervor.

Ausserdem fallen sofort in die Augen Chloritpseudomorphosen, bestehend aus dem gleichen Chlorit wie in 46 und 47 mit derselben sphärolithisch büscheligen Anordnung der einzelnen Blättchen, derselben schwachen Aufhellung und schwarzblauen bis violettblauen Polarisationsfarben; nur sind die Chloritanhäufungen hier viel regelmässiger gestaltet und begrenzt, manchmal so, als ob sie Ausfüllungen von Mandelräumen darstellten. So verhält es sich auch mit Gemengen von Chalcedon-artigem Quarz mit dem Chlorit, welche bald Mandelform besitzen, bald eine geradlinig scharf umgrenzte Form, die vollkommen an Olivin erinnert (Taf. XVIII Fig. 11a). An den letzteren betheiligt sich auch ein nadelförmiges Mineral, welches zuweilen Hornblendequerschnitt zeigt und mit Pilit grosse Ähnlichkeit besitzt, in der Färbung aber mit dem Chlorit ganz übereinstimmt (Taf. XVIII Fig. 11b). Gewöhnlich ist die Anordnung und Aufeinanderfolge der Bestandtheile der concretionären Gebilde die folgende: Zuerst findet sich eine Chloritzone, über dieser ein farbloses lebhaft polarisirendes, ebenfalls büschlig aggregirtes Mineral, welches in allen Eigenschaften mit Pyrophyllit von Orange City übereinstimmt, dann folgt das verzahnte Quarzaggregat, worin die Pilitnadeln auftreten. Vom Feldspathe sei noch bemerkt, dass er auch in Bavenoer und in Periklinzwillingen auftritt und im letzteren Falle der doppelte Winkel der Auslöschungsrichtungen in den Zwillingsindividuen zu der Zwillingsgrenze zwischen 22° und 24° gefunden wurde, während bei Zwillingen nach dem Albitgesetz der analoge Winkel auf P zwischen 8°

Digitized by Google

und 15° gelegen war, was im allgemeinen auf einen zwischen Andesin und Labradorit stehenden Plagioklas hinweisen würde.

Alle Erzpartikel sind hier meist von einem schmalen Rande umgeben, welcher oft Titanit zu sein scheint, manchmal sich aber vollkommen wie Epidot verhält, der ja in der Grundmasse so reichlich vorhanden ist. Manchmal endlich liegen die Erzpartikel mitten im Chlorit.

**49.** Pino-Blanco. Saussuritisirter Gabbro. (Serpentinzug bei Coulterville.)

In diesem Gesteine waren ursprünglich grosse Diallagkrystalle in reichlicher Menge vorhanden; davon haben sich aber verhältnissmässig wenige in typischer Ausbildung erhalten. Meistens ist es die eigenthümliche Streifung, welche den Diallag selbst dann noch verräth, wenn schwacher Dichroismus im Vereine mit der geringeren Auslöschungsschiefe bereits auf Umwandlung in Hornblende hinweisen. Nur in Schnitten, welche nahezu parallel zur Verticalaxe geführt sind, ist ein Irrthum gerade deshalb möglich, weil die verticalen Spaltrisse mit einer durch die feinen, nadelförmigen Einlagerungen nach der Endfläche (durch Zwillingsbildung) hervorgerufenen Absonderung sich zu einem Bilde vereinen, welches einen Hornblendequerschnitt oft täuschend nachahmt. Das Augitmineral erscheint auch in polysynthetischen Zwillingen. An manchen Stellen ist der Augit mit Uralit gemischt, an andern ist ein Uralitrand vom Augitkern deutlich zu unterscheiden. Der Uralit ist grösstentheils ausgeblasst und selbst wieder in Chlorit verwandelt. Der Diallag erscheint vielfach zerbrochen.

An Stelle des ursprünglich farblosen Feldspathes findet man nichts als Epidotanhäufungen (z. Th. wohl auch Zoisit) und kaolinähnliche Substanzen. Durch Feldspathe und Augite quer hindurch setzen aber endlich Quarz- resp. Chalcedonadern, die mit Chloritabsätzen in Verbindung stehen — beides offenbar die letztgebildeten Bestandtheile und ein Beweis, dass der Zersetzungsprocess des Gesteines bereits anfing ins letzte Stadium, das der Verkieselung und Chloritbildung zu treten.

Sehr spärliche Reste von Olivin, nebst etwas Serpentin wurden gleichfalls bemerkt, ebenso etwas Titaneisen mit Leukoxen.

Digitized by Google

**50. Bridgeport. Biotit-Hornblende-Gabbro.**

Dieses Gestein zeichnet sich durch Frische und Mannigfaltigkeit der Gemengtheile aus. Dasselbe steht in seiner Structur wie in seiner Zusammensetzung (hauptsächlich aus Diallag ähnlichem Augit und Plagioklas) zwischen einem Diabas und Gabbro. Der Plagioklas ist recht frisch und klar; nach Beobachtungen an Spaltblättchen verhält er sich wie Bytownit; gewisse Beobachtungen im Schliffe verweisen auf einen Labradorit; möglich, dass er eine schwankende Zusammensetzung hat, welche zwischen den genannten beiden Mischungen gelegen ist. Derselbe enthält lebhaft gelb bis grün und roth pleochroitische Mikrolithe (tafelförmige und säulenförmige Individuen und rundliche Körner) eines Augitminerales, das sich rhombisch verhält und auch die eigenthümlichen Interferenzerscheinungen eines Hypersthens besitzt. Genau denselben Pleochroismus zeigen aber auch die grossen prismatischen Augitkrystalle, welche nebst der nicht immer gleich deutlich vorhandenen Diallag-Structur alle optischen Eigenschaften (Polarisation, opt. Orientirung) eines monoklinen Pyroxens aufweisen, in der Form und im ganzen Habitus dagegen auf den ersten Blick ausserordentlich an Hypersthen erinnern. Die Intensität des Pleochroismus variirt merkwürdigerweise auch in Schnitten, die einander analog sind; möglich daher, dass diese Erscheinung mit beginnender Zersetzung zusammenhängt. In Querschnitten waren die beiden Farbentöne: hyacinthroth bis nelkenbraun einerseits, blass gelblichgrün andererseits. In Längsschnitten gab sich bei geringer Auslöschungsschiefe bisweilen fast gar kein Unterschied der Farben zu erkennen, nach beiden Richtungen erschienen die Schwingungen grün, und zwar parallel der aufrechten Axe mit einer blauen, parallel der Queraxe mit einer lichteren, gelblichen Nuance von Grün. Doch war in ähnlich gelegenen Durchschnitten mitunter sehr kräftiger Dichroismus zu beobachten, wobei die besprochenen Nuancen in stärkerer Intensität auftraten. Blättchen des Diallagminerales, mit dem Messer abgespalten, lieferten bei Betrachtung mit dem Condensor das Bild einer am Rande des Gesichtsfeldes austretenden optischen Axe, wodurch die im Schliffe vorgenommene Bestimmung noch ihre Bestätigung erhält.

Digitized by Google

Auch eine ziemlich stark dichroitische Hornblende ist im Schliffe vertreten. Im Querschnitte zeichneten sich die Schwingungen // a durch ein sattes saftiges grüngelb, // b durch ein dunkleres lauchgrün aus, // c erschienen die Schwingungen in Längsschnitten blaugrün bis spangrün gefärbt. Das Hornblendemineral tritt weniger in geschlossener schöner Krystallform, vielmehr meist in enger Beziehung zum Augitmineral auf, dessen Individuen umschliessend, dessen ausgezackte Ränder z. Th. ausfüllend, denselben also randlich angeschmiegt.

Ebenso verhält sich aber auch ein in Blättchenform sich darstellendes, im Habitus Chlorit- resp. Chloritoid-ähnliches Mineral, welches mit der Hornblende die lichter grünen Farbentöne und den Dichroismus gewisser Schnitte gemein hat, in andern Schnitten aber bei nur einigermaassen grösserer Dicke intensiv blauschwarz und nur an den Rändern durchsichtig erscheint, zwischen gekreuzten Nicols fast gar nicht aufhellt und ausserordentlich an einen im „Gloggnitzer Forellenstein" auftretenden Gemengtheil erinnert, welcher an einem andern Orte beschrieben werden wird. Schon der Umstand, dass jene dunkel gefärbten Schnitte schief austretende Axen zeigen, schliesst den Gedanken an ein grünes Biotitmineral aus. Um so auffallender ist der weitere Umstand, dass es in seiner Erscheinungsweise dem gleichfalls vorhandenen typischen, gelbbraunen, dunklen Biotit ausserordentlich ähnelt, genau in denselben ausgezackten, ausgelappten Formen auftritt, welche letzterem hier eigenthümlich sind und in den dunkel gefärbten Schnitten mit schwachem Dichroismus (Wechsel zwischen bräunlichen und bläulichen Nuancen) auch in der Färbung sich demselben nähert. So zeigt das genannte Mineral in seinen Cohäsionsverhältnissen und seiner Erscheinungsform eine gewisse Annäherung an den hier vorhandenen Biotit (mit welchem noch ein weiterer, später zu erwähnender Vergleichspunkt sich ergibt), sowie in der optischen Orientirung an die Hornblende.

Als ein weiterer in die Augen fallender Gemengtheil ist noch ziemlich reichlich vorhandenes Erz, dem Anscheine nach wohl hauptsächlich Magneteisenerz, zu nennen. Dasselbe tritt in zweifacher Form auf. Mitten im Augitmineral und im

Digitized by Google

Plagioklas in schönen scharfen Kryställchen, hauptsächlich von Oktaëderform oder Combinationen mit dem Oktaëder. Im Plagioklas stehen dieselben sehr häufig mit den besprochenen Pyroxenmikrolithen in Verbindung, von letzteren umschlossen oder denselben aggregirt. Auch in gestrickter, in Gitterform, in mehr oder weniger ausgesprochener Krystallform wurde das Erzmineral sonst noch zwischen den übrigen Gemengtheilen beobachtet. Ausserdem aber findet es sich, krystallinischer Umrisse gänzlich ermangelnd, in ausgezackten oder gerundeten Formen, wie sie hier sonst nur noch der Glimmer und das Chloritoid ähnliche Mineral darbieten und in der That bilden die letzteren Gemengtheile (besonders das Chloritoid ähnliche Mineral) in solchem Falle in der Regel die Unterlage, auf welcher das Erz gelegen ist, das ihre Formen nachahmt (Taf. XIX Fig. 12). Genetische Beziehungen zwischen beiden Arten von Gemengtheilen erscheinen mir danach zweifellos, wiewohl dieselben im vorliegenden Falle schwer zu definiren sind. Noch sei erwähnt, dass sehr selten etwas Quarz als Zwischenklemmungsmasse beobachtet wurde, endlich, dass Pressung und Verdrückung der Gemengtheile mehrfach sich kund gaben.

**51.** Vom selben Fundorte stammend (resp. unter gleicher Etiquette) liegt ein recht typischer saussuritisirter Uralit-Gabbro vor, welcher manche Eigenthümlichkeit bietet.

Zunächst ist der Pseudomorphosencharakter des Uralites hier sehr typisch zu beobachten. Durchschnitte von der Form des Augites resp. Diallages sind da völlig ausgefüllt von wirr gelagerten Amphibolsäulchen und Prismen, welche zuweilen fast ebenso grobkörnig entwickelt sind wie die Hornblende als Gesteinsgemengtheil in gewissen Amphiboliten und welche auch in Zwillingen auftreten. Diese Uralite sind im Innern heller gefärbt, hier zuweilen auch mit Chlorit angefüllt, die am Rande abgesetzte Hornblendesubstanz ist hingegen dunkelgrün. Der Pleochroismus derselben ergibt // a gelb, // b lauchgrün (braungrün), während für Schwingungen // c die Farbe blaugrün wird. Zwei von diesen Farben, nämlich gelb und grün (letzteres parallel zur Basis, ersteres senkrecht dazu) kommen fast mit der gleichen Nuancirung auch dem inmitten

Digitized by Google

der neugebildeten Hornblende und auch davon losgetrennt — z. B. büschelförmig — nahe dem Rande der Uralitpseudomorphosen gelegenen Chlorite zu (vgl. dazu und zum folgenden Taf. XIX Fig. 13). Abgesehen aber von den Unterschieden in den Cohäsionsverhältnissen, welche schon in der Darstellung der Spaltrisse ihren Ausdruck finden, bietet die Beobachtung der Polarisationsfarben hier wieder das sicherste Unterscheidungsmittel. Während bei der Hornblende grelle gelbe, rothe, blaue und violette Farbentöne miteinander wechseln, besitzt der Chlorit hier im wesentlichen nur eine tief dunkelblaue Polarisationsfarbe.

Trotz der in so hohem Grade entwickelten Uralitbildung fehlt es keineswegs an Resten des ursprünglichen Augitminerales. So gibt es Durchschnitte, welche bloss einen dunkelgrünen Rand besitzen, während im farblosen Inneren, das etwas Diallagstructur und gelbliche bis bläulichgraue Polarisationsfarben aufweist, bei nur einem System von Spaltrissen und im Falle gerader Auslöschung senkrechten Austritt einer Axe, allerdings etwas gestört, beobachtet wird. Diese Störung und die grüne Umrandung sind eben das erste Zeichen beginnender Umwandlung. Andere Schnitte schwach bräunlich gefärbt, mit typischer Streifung, besitzen die den monoklinen Augiten zugehörige bedeutende Auslöschungsschiefe. Taf. XIX Fig. 13 soll nicht nur auf den Unterschied in der Anlagerung der Hornblendesubstanz am Rande und im Innern vollständiger Uralitpseudomorphosen, sondern auch darauf aufmerksam machen, wie mit dem vorigen Processe gleichzeitig die gänzliche Zerstörung der ursprünglich vorhandenen Feldspathsubstanz Hand in Hand ging und wie sich die Vorgänge an der Grenze beider, des ursprünglichen Diallages und Feldspathes, gestalteten. Der Rand des ursprünglichen Diallagkrystalles wird, wie gesagt, von einer, bei Parallelstellung der Verticalrichtung mit der Schwingungsrichtung des unteren Nicols grün erscheinenden Zone gebildet. Bei der dazu senkrechten Stellung ist ein wesentlicher Unterschied in der Färbung zwischen Kern und Hülle nicht vorhanden und erscheint das ganze scheinbare Individuum ziemlich einheitlich gelb. Während nun im Innern die blasser gefärbten Uralitkrystalle wirr durch einander liegen, läuft der obere Rand in nadel-

Digitized by Google

förmige Spitzen aus. Diese Nadeln stellen, wie sich zwischen gekreuzten Nicols zeigt, ebenso viele parallel gerichtete Hornblende-Individuen dar, die sich abwechselnd in Zwillingsorientirung befinden. Zwischen diesen Nadeln ist theils gelbgrüne Epidotsubstanz, theils Quarzsubstanz eingeschoben. Die Seitenränder hingegen waren ursprünglich (wie an manchen Stellen jetzt noch) vollkommen scharf und geradlinig begrenzt. Hier sind aber, in demselben Maasse als nebenan die Umwandlung des Feldspathes vor sich ging, reihenweise die Hornblendenadeln der Randzone losgebrochen worden und haben sich z. Th. parthienweise senkrecht zum ursprünglichen Rande gestellt. Dazwischen hat sich aber ein ziemlich grobes Gemenge von wasserklaren Quarzkörnern mit Feldspath- und grösseren Epidotkörnern und Epidotsäulchen herausgebildet, worin hie und da Chloritbüschel liegen. Die Bogenlinie rechts seitlich zeigt die Grenze an, bis zu welcher die gänzliche Auflösung des anstossenden Feldspathes vorgedrungen ist. Dieser selbst ist aber auch dort, wo seine Umrisse sich noch erhielten, keineswegs mehr als solcher vorhanden, sondern lediglich durch ein saussuritisches inniges Gemenge von Zoisitstaub und feinsten farblosen Blättchen und Fäserchen, die sich im übrigen wie Pyrophyllit verhalten, ersetzt. Da nun auch deutliche Quarzadern den Schliff durchziehen, so gewinnt es zunächst den Anschein, dass der dazwischen gelegene, schön auskrystallisirte Epidot im Verhältnisse zu dem staubig abgeschiedenen Epidotmineral der Umgebung als secundäres, als Produkt einer Umkrystallisation aufzufassen sei.

Epidot von gleichem Charakter, krystallographisch orientirt, so zwar, dass die Längsrichtung der Säulchen der Verticalaxe des Wirthes, oder so, dass eine der Spaltflächen des Epidotkornes der vorherrschenden Spaltbarkeit des einschliessenden Minerales parallel liegen u. s. w., findet sich auch in einer andern völlig wasserklaren Substanz, die ich nach optischen Bestimmungen für einen Albitfeldspath halten möchte.

Endlich aber kommen neben solchen Parthien, welche das optische Verhalten eines Mikroklin besitzen, noch andere schwach getrübte Parthien im Schliffe vor, welche in Structur und optischem Verhalten einem Mikroperthit gleichen. Im Verlaufe eines solchen Mikroperthites, wo sich die ein-

Digitized by Google

U... CALI...

gelagerten Flasern verbreitern und schliesslich ganz überhand nehmen, geben sich dieselben als der für Albit gehaltene Feldspath zu erkennen und zeigte sich beispielsweise in einem besonderen Falle, dass diese Albiteinlagerungen unter einander sich in zweierlei Stellung befanden, wie sie dem Karlsbader Zwillingsgesetze entsprechen würde. In diesen Einlagerungen stellen sich sogleich wieder grössere, orientirte Epidotkrystalle ein, welche dem eigentlichen Mikroperthit, als solchem, fehlen. Diese Thatsachen, deren Beurtheilung allerdings eine gewisse Reserve auferlegt, weil sie lediglich auf dem Wege mikroskopischer Betrachtung gewonnen sind, würden, falls sie sich anderwärts bestätigen, zu dem Schlusse führen, dass hier (und in ähnlichen Fällen) ursprünglich ein kalkreicher Feldspath (etwa Bytownit) vorlag, welcher zunächst an Ort und Stelle in ein saussuritisches Gemenge umgewandelt wurde — aus dem aber bei einer erneuten Lösung und in Wechselwirkung mit den dem Augit entstammenden Lösungsresten, also z. Th. auf dem Wege der Umkrystallisation, local Epidot in grösseren Individuen, Quarz und zweierlei Feldspathe (letztere auch in mikroperthitischem Gemenge) sich abschieden.

Noch seien ziemlich wohl erhaltenes Erz von der Structur des Titaneisens, Apatitkörner und eine Substanz erwähnt, die ich für Prehnit halten möchte.

**52.** Bodie. Pilit-Gabbro.

Hier ist der Pilit in typischer Ausbildung zu studiren. Man erkennt deutlich, wie sich die Hornblendesubstanz parallelfasrig (uralitisch) an Stelle des Augites, pilitisch (wirr durcheinander liegend) an Stelle des Olivines ablagerte und wie sie schliesslich sich so allgemein verbreitete, dass sie auch den Feldspath durchdrang. Dieser, stellenweise stark getrübt, ist im Ganzen noch wohl erhalten und hat eine optische Orientirung, welche mehr an Anorthit als an Bytownit erinnert, aber jedenfalls zwischen beiden steht. Mitten im Pilit liegen hie und da gelbliche Nester ausgeblassten Biotites, mit schwachen Polarisationsfarben, ferner Serpentin. Quergegliederte farblose Säulchen, wohl auf Zoisit zu beziehen, sind massenhaft unter den Zersetzungsprodukten des Feldspathes vorhanden; aber auch Epidot fehlt nicht.



Digitized by Google

**53.** Eine Stunde westlich von Nevada City. Saussuritisirter Gabbro (aus dem zweiten Serpentinzug).

Gleichfalls stark zersetztes Gestein. Der Plagioklas, welcher, nach der Auslöschungsschiefe der nur an vereinzelten Stellen erhaltenen Zwillingslamellen zu schliessen, der Bytownitreihe angehört, ist stellenweise ganz aufgelöst in ein saussuritisches Aggregat, verliert sich allseitig in einen winzigen Nadelfilz von pilitischer Hornblende und ein Gemenge von Epidot- resp. Zoisitkörnern mit chalcedonartigem Quarz. Der blass gelblich und grünlich dichroitische Pilit zeigt mitunter eine selbständige Anordnung. Der Augit hat Diallagstructur, ist bräunlich gefärbt, feinfasrig und, wie die lebhaften gelbgrünen und blauen Polarisationsfarben erweisen, meist verhältnissmässig gut erhalten; eine eigentliche Uralitbildung ist hier nicht zu bemerken, — hingegen stellen sich pilitische, ferner etwas serpentinöse und chloritische grüne Zersetzungsprodukte ein. Dieselben sind zum Theile vielleicht auf ein ursprünglich vorhandenes Glimmermineral zurückzubeziehen und stehen mit Quarznestern durch Epidotschnüre in Verbindung.

Bei der mehrfach beobachteten Zerbrechung der ursprünglichen Gemengtheile haben sich die Zersetzungsprodukte theilweise den alten Structurrichtungen, theilweise den neu entstandenen Sprüngen parallel abgelagert. Ob auch Bronzit neben monoklinem Augit vorlag, ist beim gegenwärtigen Erhaltungszustande des Gesteins nicht zu entscheiden.

**54.** Zwischen Bonyard und Big Oak Flat. Saussuritisirter Diallag-Biotit-Gabbro.

Ein in hohem Grade in Umwandlung begriffenes Gestein. Der Feldspath ist wieder fast vollständig in ein saussuritisches Gemenge umgewandelt. Da, wo die Zwillingsstructur noch hie und da erhalten blieb, was höchst selten zu beobachten ist, weist das Zersetzungsprodukt ein gröberes Korn auf — dagegen sind die Umrisse des Plagioklases an solchen Stellen gänzlich verloren gegangen. Da, wo von der dichten, trübgrauen bis bräunlichen Zersetzungsmasse (welche aus einem innigen Gemenge eines Epidot- und Pyrophyllitminerales besteht) die Leistenform der ursprünglichen Plagioklaskrystalle noch vielfach beibehalten wurde, ist die innere Structur um-

Digitized by Google

gekehrt gänzlich verloren gegangen. Bemerkenswerth ist das ziemlich reichliche Auftreten von Zoisitkryställchen, von denen manche eine etwas beträchtlichere Grösse erreichen und die Polarisationsverhältnisse des Zoisites in recht typischer Weise zeigen; sie finden sich besonders häufig parallel zu den Spaltrissen gelagert mitten in einem blassen Biotitmineral.

Die Diallagindividuen sind randlich ausnahmslos angegriffen und theilweise zerstört, auch wenn ein frischer Kern noch vorhanden ist. Letzterer erscheint um so dunkler bräunlich bis röthlich gefärbt, je mehr die Zersetzung vorgeschritten ist. Der Diallag ist häufig zerbrochen und brauner Biotit erscheint dann dazwischengeschoben. Solcher findet sich auch in scheinbar intactem Diallag als Einschluss.

Ausserhalb des Diallages ist hingegen ächter brauner Glimmer nicht zu finden; hier tritt anstatt seiner ein sehr blass gefärbtes Glimmer- oder Chloritmineral auf, mit eigenthümlichen, tief blauen Polarisationsfarben und dieses steht mit einem gleichfalls meist schwach gefärbten Hornblendemineral in Verbindung. Der grüne Gesteinsgemengtheil verhält sich nämlich hier sehr verschiedenartig und besitzt einen sehr unbestimmten Charakter, welcher von Stelle zu Stelle, zuweilen allmählig, wechselt. Als grüner Aussenrand des Diallages erscheint er zuweilen deutlich dichroitisch und zwar braungrün bei horizontalen, spangrün bei verticalen Schwingungen; gegen das Innere des Augites hin wird er bräunlich, geht in braunen Biotit über; nach aussen hin findet man zumeist wirr durch einander liegende Aggregate eines hauptsächlich blättrig erscheinenden Minerales, welches bald aussieht, wie ausgeblasster, gelblicher Biotit mit sehr schwachem Dichroismus und gleichzeitig mit den tiefblauen Polarisationsfarben eines Chlorites, bald verhält es sich im ganzen wie Chloritoid, bald hat es den Character eines nicht blättrigen Minerales und zwar einer grünen (// c spangrünen, senkrecht dazu gelben) bis nahezu farblosen, sehr lebhaft polarisirenden Hornblende, die sehr selten im Habitus an Uralit erinnert. Dazwischen liegen gelbliche bis grünliche Parthien, die sich fast isotrop verhalten und lebhaft polarisirende Epidotkörner, ferner Titanitkrystalle und Erzreste mit farblosen Rändern, in deren Nähe Rutilkryställchen sich befinden.



Digitized by Google

Zwischen der Hornblende und dem Biotitmineral einerseits, zwischen dem Diallag und den vorigen, sowie den noch ausserdem vorhandenen Chloritoid-ähnlichen Minerale und Pyrophyllit andererseits bestehen Gesetzmässigkeiten in der gegenseitigen Orientirung, die wohl auch auf genetische Beziehungen schliessen lassen, obwohl mit Ausnahme des Diallages schwer zu erkennen ist, welches Mineral jedesmal als das ursprünglichere (früher gebildete) zu betrachten sei. Ein Beispiel, wo Hornblende das abgebrochene Ende von gebleichtem Biotit ergänzt, resp. umgekehrt davon ergänzt wird, ähnlich wie (Taf. XIX Fig. 14 b), sowie von der parallelen Verwachsung von Diallag, Chlorit-Biotitmineral, und Anlagerung von Pyrophyllit (Taf. XIX Fig. 14 a) mag genügen, diese Verhältnisse zu illustriren. In letzterer Figur bedeutet *d* den braun gefleckten Diallag, mit braunrothen Polarisationsfarben, *c* ist blättrig, senkrecht zur Blätterung blassgelb, parallel dazu etwas dunkler grünlichgelb, schwach schief bis gerade auslöschend und besitzt tiefblaue Polarisationsfarbe. *Pp* ist der farblose, so lebhaft wie Kaliglimmer polarisirende Pyrophyllit.

Die bisher genannten Gesteinsgemengtheile lassen vielfach Spuren von Zerreissungen und Zerbrechung an sich erkennen. Da es sich zeigte, dass auch diejenigen unter ihnen, welche offenbar auf dem Wege der Umbildung der übrigen entstanden sind, wie der Zoisit, davon keine Ausnahme machen, so ist dies ein Beweis, wie lange die Ursachen dieser inneren Gesteinszertrümmerung angedauert haben mag. Diese gebrochenen Zoisitkrystalle liegen in einer isotropen, gelbgrünen Substanz. Diallagbruchstücke werden von glashellem Quarz öfters gänzlich umhüllt. Dieser Quarz, welcher von Apatitnadeln reichlich durchspickt, im Schliffe sofort in die Augen fällt, erweist sich schon dadurch, dass er als Zwischenmasse zwischen allen übrigen Gemengtheilen auftritt, als der zuletzt gebildete Bestandtheil und indem er sammt den Apatitnadeln zwischen die Bruchstücke und Spalten der andern eindringt, in gewissem Sinne jedenfalls auch als secundär.

**55.** Indian Gulch, Abstieg gegen Bear Creek. (Einlagerung im Gneiss.) Olivindiabas (Olivingabbro) mit Bytownit ($Ab_1 An_3$).

Digitized by Google

Das Gestein ist wohl besser als typischer Olivindiabas zu bezeichnen, mit Rücksicht darauf, dass das Augitmineral darin nur theilweise und zwar im Zusammenhange mit der Zersetzung Diallagstructur angenommen hat und gleichzeitig die Structur des Gesteines eine echt diabasisch körnige zu nennen ist.

Der Feldspath, welcher in Leistenform besonders häufig mitten im Augit anzutreffen ist, bald regellos eingelagert, bald in gesetzmässiger Weise zum Wirthe orientirt, zeigt den Beginn der Mikrostructur eines Labradorites und in schwachem Grade auch die Erscheinung des Labradorisirens. Er erscheint im gewöhnlichen Lichte schwach bläulich getrübt, in bekannter Weise gestrichelt und punktirt durch eine Unzahl der winzigsten Einschlüsse von langen schwarzen Nadeln. Die lebhaften Polarisationsfarben zwischen gekreuzten Nicols beweisen seine vollständige Frische und verrathen seine reichhaltige Zwillingsbildung. An Spaltblättchen wurde die Auslöschungsschiefe auf P zu 17°, auf M zu — 26,5° bestimmt, fast genau entsprechend den theoretischen Werthen, welche ein echter Bytownit verlangt, indem ja einer Mischung von $Ab_1 An_3$ die Winkel 17° 40′ auf P und — 26° auf M entsprechen. Die im Schliffe gemessenen Auslöschungsschiefen hatten mich zu dem gleichen Schlusse geführt.

Der Augit erscheint bemerkenswerth durch den Beginn einer fasrigen Zersetzung, welche vom Rande ausgeht. Sämmtliche, ziemlich unregelmässig umgrenzten, mit zackigen Rändern zwischen die Plagioklase sich schiebenden Augitkörner sind mit einem dunkel gefärbten, grünschwarzen oder blauschwarzen oder braunschwarzen Rande umgeben, welcher entweder bei gleichbleibender Intensität der Färbung nach innen zu in ein System von dicken meist untereinander und der Längsfläche parallelen Strichen ausläuft, oder bei abnehmender Intensität mit gleichmässigem Farbentone den ganzen Augit noch eine Strecke weit überzieht. Eine andere Art der Zersetzung, welche im Innern des Augites beginnt, scheint mit Erzablagerung und secundärer? Biotitabscheidung in Zusammenhang zu stehen.

Der Olivin erscheint zersprungen und mit röthlich braunen Zersetzungsadern durchzogen; er dürfte eine eisenreichere

Digitized by Google

Varietät darstellen. Schon makroskopisch, wo der Augit, gemäss seiner Umrandung, schwarze Umrisse zeigt, fallen die braunrothen Zersetzungsflecken in der Gesteinsprobe auf, die von Olivin herrühren.

Interessant sind in diesem Gestein noch folgende, die gegenseitige Abgrenzung der genannten drei Gemengtheile betreffende Erscheinungen. Einmal der Umstand, dass der schwarze Faserrand des Augites immer da sich einstellt, wo Augit und Plagioklas aneinanderstossen. Besonders instructiv ist der Fall (Taf. XIX Fig. 15), wo Plagioklasleisten vom Augite eingeschlossen sind und der Augit wieder ringsum von Plagioklas umgeben wird: zu dem Aussenrand kommt hier noch ein Innenrand in der Nachbarschaft des eingeschlossenen Plagioklasindividuums, welches überdies gesetzmässig orientirt ist, so zwar, dass die Längsfläche des Plagioklases einer verticalen Prismenfläche des Augites parallel ist. Sodann sind die eigenthümlichen Abgrenzungen und Umrandungen des Olivines gegenüber dem Feldspathe hervorzuheben. Der Olivin erscheint nämlich da, wo seine Umrisse besser erhalten sind, mit einem Kranze eines pilitartigen, aus unvollkommen fasrigen, keuligen bis spindelförmigen, im Ganzen zur Olivinoberfläche senkrecht gestellten Elementen bestehenden Gemenges umgeben. Dieses Aggregat, mit dem Habitus eines halb krystallin gewordenen Schmelzproductes ist fast farblos (bis schwach grünlich), verhält sich bald isotrop, bald optisch activ mit Auslöschung schief zur Faserrichtung. Die Olivinkörner selbst sind da, wo sie von diesem Kranze, welcher dem angrenzenden, scheinbar völlig intacten Feldspathe eine Art mikroperthitisches Aussehen ertheilt, nicht umschlossen werden, häufig in zahlreiche rundliche bis eckige Körner aufgelöst, die auch in dem benachbarten Feldspathe sich eingestreut finden. Diese Körner polarisiren zum Theile ganz wie der Olivin selbst, zum Theile verhalten sie sich wie Glas, zum Theile verhalten sie sich wie jenes Kranzmineral von dem früher die Rede war. Man hat es hier vermuthlich einerseits mit einer theilweisen Einschmelzung des Olivins zur Zeit der Feldspathbildung, andererseits mit einer Wechselwirkung beider, die wohl einer andern Zeit angehört, zu thun.

Wo Olivin, Augit und Feldspath zusammenstossen, er-

Digitized by Google

scheinen sie durch einen schmalen grünen Rand geschieden. Wie der Plagioklas durch seine Beziehungen zum Augit sich deutlich als die ältere Bildung erweist, so bleibt nach dem eben Gesagten kein Zweifel, dass der Olivin den Plagioklas wieder an Alter übertrifft.

**56.** Birchville. Anorthit-Olivin-Gabbro. (Diorit- und Gabbro-Terrain.)

Ein sehr schönes Gestein, da alle Gemengtheile ziemlich frisch, Zersetzungserscheinungen erst im Beginne vorhanden sind. Auch hier ist der ursprüngliche Augit fast farblos, Färbung stellt sich gleichzeitig mit der Diallagstructur ein, die aber mit dem Auftreten secundärer, theilweise mit Erz erfüllter Zwillingslamellen besonders nach der Endfläche, zusammenhängt. Der Diallag zeigt demzufolge hier schmutzige und zwar eine sehr blasse, bräunlich grüne Färbung.

Abgesehen von dem Beginne strahlig büscheliger Pyrophyllitbildung, welche an vereinzelten Stellen im Feldspathe Platz gegriffen hat, ist derselbe vollkommen wohl erhalten, was um so bemerkenswerther erscheint, als derselbe sich gemäss optischer Prüfung als reiner Anorthit erweist. Von den Spaltblättchen nach P ergaben die klarsten und dünnsten für die Auslöschungsschiefe den Werth 37°, also genau den Anorthitwinkel. (Schlechtere Blättchen gaben je nach der Lage zwischen 33° und 40° schwankende Werthe.) Auf M wurde derselbe Winkel zu — 33° gemessen. Ein anderes Spaltblättchen nach M zeigte sich erfüllt von feinen Zwillingslamellen nach dem v. Rath'schen Gesetz, die mit der basischen Spaltbarkeit einen Winkel von — 15° bis — 18° einschliessen. Diese feine Zwillingsbildung nach dem Periklingesetze ist mit ein Grund für die schwankenden Werthe der Auslöschungsschiefe auf M, welche sich hier zu — 42° ergab.

Im Schliffe wurde an Durchschnitten, welche die von der Durchkreuzung der Periklinzwillingslamellen gebildete rechtwinkliche Gitterstructur zeigten, die Auslöschungsschiefe der Einzelindividuen zur Zwillingsgrenze zu ca 41° gefunden, in Übereinstimmung mit den übrigen Resultaten. Mehrfach zeigen sich die Folgen innerer Pressung und Zerreissung in diesem Gestein, welche in Sprüngen, die eine Anzahl Gemengtheile

Digitized by Google

durchsetzen, ihre Auslösung finden. Da, wo solche Sprünge in bereits vorhandene Zwillingslamellen auslaufen, da erscheinen dieselben wie zerfasert und zeigen, während gleichzeitig Newton'sche Farbenringe auftreten, stellenweise isotropes Verhalten.

Einer sonderbaren Verwachsung von Augit und Feldspath mag hier noch gedacht werden, deren Regelmässigkeit sich öfters wiederholt. In einem mit polysynthetischer Zwillingsstreifung versehenen Diallagkrystall (Taf. XIX Fig 16) ist vom Rande her ein leistenförmiges Plagioklasindividuum eingewachsen, welches so begrenzt und gelagert ist, dass die zwei parallelen Längskanten desselben zugleich dem Orthopinakoid des Diallages parallel verlaufen, die feine Zwillingsstreifung im Plagioklas jedoch, welche mit seinem Umrisse keineswegs übereinstimmt, den nadelförmigen Einschlüssen des Diallages parallel geht, welche der aufrechten Axe desselben entsprechen.

Schliesslich wären noch über den Olivin einige Worte zu sagen. Derselbe tritt sowohl in gerundeten, ganz zersprungenen Körnern auf, als auch in ziemlich guten Krystallen; letzteres besonders mitten im Augit. Hier macht er häufig eine einseitige Zersetzung durch (s. Taf. XIX Fig. 17 a). Während das eine Ende des Krystalles noch frisch erscheint, ist dieser frische Rest gegen die Mitte hin von einer gelblichen, optisch wirksamen, serpentinähnlichen Substanz umgeben, das entgegengesetzte Ende mit Erz ausgefüllt, von welchem aus Häute gelben Eisenoxydhydrates ausgehen und in die umgebende Diallagmasse längs Sprüngen derselben eintreten. Einen anderen Fall einseitiger Zersetzung stellt Fig. b dar. An dem unzersetzten Ende des diesmal zwischen Plagioklas gelegenen Olivines ist hier neben dem frischen Olivinrest sehr blass bräunlicher Biotit abgeschieden, während das entgegengesetzte Ende gänzlich aus Talk gebildet wird.

Zu den bereits genannten, bei der Zersetzung des Olivines sich ergebenden Mineralen gesellen sich noch trübe, winzige Körnchenanhäufungen von Magnesit. Zwischen Feldspath, Augit und Olivin schieben sich ausser Eisenoxydhydrat gern spangrüne chloritische Säume ein.

Digitized by Google

**57.** Hamilton. Silificirter Porphyrit (Trachyt) (Gänge im Schiefer).

Dieses Gestein erinnert ausserordentlich an gewisse Halbopale von Gleichenberg. In einer, wesentlich aus verschiedenen Modificationen von Quarzsubstanz und aus Körnern monoklinen? Feldspathes gebildeten Grundmasse, welche nebst vielen Apatitnädelchen und Säulchen mit deutlich hexagonalem Querschnitte auch etwas Epidot, z. Th. in schönen Krystallen, sowie Blättchen eines talkähnlichen Minerales und endlich zerfaserte, grünliche Nädelchen mit der Auslöschungsschiefe von Hornblende enthält, liegen viele vollendete Feldspathpseudomorphosen porphyrisch eingestreut, deren Umrisse zum Theile wohl erhalten sind. Das Innere aber besteht gänzlich aus einem Gemenge von Opalsubstanz und bald gröberen, bald feineren Chalcedon ähnlichen Quarzaggregateu mit einem Erzmineral und gelblichen trüberdigen Verwitterungsproducten eines solchen.

Das Erzmineral, fast ausschliesslich Schwefelkies, welches im auffallenden Lichte grünlich gefärbt erscheint, seltener in gestreiften Würfeln, vorherrschend in rundlichen Gruppen auftritt, ist auch in der Grundmasse in diesem fein vertheilten Zustande sehr reichlich vorhanden. In der letzteren finden sich noch stark licht- und doppelbrechende, daher sehr lebhaft polarisirende, sehr blass hyacinthroth gefärbte, grade auslöschende Kryställchen von der Form des Zirkon.

**58.** Eine Viertelstunde westlich von Hornitos. Quarzporphyrit. Mit Zersetzungsadern.

Die Grundmasse dieses Gesteines ist wesentlich aus Feldspath- und Quarzkörnern, weniger aus Epidot und oft büschelig aggregirten Chloritnädelchen zusammengesetzt und lässt eine Art granophyrischer neben pegmatitischer Structur hie und da erkennen. Diese Grundmasse erscheint von Adern und Trümern vielfach durchzogen, welche ursprünglich aus einem fasrigen, chloritähnlichen Minerale bestanden, dessen Fasern im ganzen Verlaufe der Adern parallel gestellt waren; später ist dieses Mineral theilweise wieder aufgelöst und ganz oder zur Hälfte durch Epidotkörner ersetzt worden (weshalb auch dichte Epidotschnüre vorliegen) oder es ist Quarz an seine

Digitized by Google

Stelle getreten. Dieser Quarz ist von den Quarzkörnern der Grundmasse in nichts verschieden, weshalb auch diese z. Th. secundären Ursprunges sein dürften.

Dagegen treten hier sehr scharf begrenzte, wasserklare Quarzkrystalle mit Prisma und beiden Rhomboëdern unter den Einsprenglingen auf, die durchaus primären Charakter besitzen. Dieselben lassen bei vollkommen intactem Umrisse durch undulöse Auslöschung die Wirkungen von Pressung deutlich wahrnehmen; in anderen Fällen erscheinen sie auch zerbrochen oder an einer Seite von einem geradlinigen Umrisse scharf begrenzt, während sie an den drei übrigen Seiten sich ganz allmählig in die Grundmasse verlieren.

So gibt auch der porphyrisch eingesprengte Feldspath (trotz häufiger, scheinbar einfacher, Karlsbader Zwillinge durch polysynthetische Lamellenbildung als Plagioklas erkennbar) vielfach Zeugniss von Zerbrechungen und Verschiebungen, die innerhalb des Gesteines vor sich gegangen sein müssen. Seine Ränder sind überdies in der Regel ausgezackt und verlieren sich oft gänzlich in der Grundmasse. Wenn man die Beziehungen, welche zwischen der Umrandung dieser Feldspathe und den anliegenden Parthien der Grundmasse bestehen, näher ins Auge fasst, erkennt man erst mit Sicherheit, dass die getrübten Stellen zwischen den klaren Quarzkörnchen der Grundmasse, deren Trübung vornehmlich auf feinste Pyrophyllitschüppchen und winzige Epidotkörnchen zurückzuführen ist, von Resten umgewandelter Feldspathfragmente herrühren dürften. Lokal, namentlich zwischen zwei benachbarten das Gestein durchziehenden Sprüngen, finden sich in der That gröberkörnige Nester mit deutlichen Feldspathfragmenten, Epidot und Chlorit ausgefüllt.

Um frische Erzkörner (Magnetit) herum finden sich wieder schwach röthlichgelb gefärbte Parthien, welche an die dichten Körneraggregate von Titanit im Gemenge mit winzigsten Sagenitnadeln in gewissen Phylliten erinnern.

**59.** Bodie. Quarzandesit.

Pyritreicher, typischer Quarzandesit, ganz ähnlich demjenigen vom Dep. du Var in Frankreich, liegt in einer Probe vor, welche aus den tieferen Horizonten des Goldbergwerkes von Bodie herstammt.

Digitized by Google

**60.** Johnson, Weber Lake. Quarzhornblendeandesit.

In einer mikrogranitisch entwickelten, aus Quarz-, Hornblende- und Epidotkörnern und Erzpartikeln gebildeten Grundmasse liegen getrübte, bisweilen zonal gebaute Plagioklase und makroskopisch schwarz erscheinende, im Schliffe ziemlich intensiv grün gefärbte, grosse Hornblendekrystalle porphyrisch eingesprengt. Nur in vereinzelten Fällen, in der Nachbarschaft der Hornblende, hat Epidotbildung im Feldspathe stattgefunden; zumeist erscheint er von feinsten Kaolinschüppchen durchdrungen, was darauf hindeuten dürfte, dass hier ein Kaliplagioklas vorliegt. Zwillingsstreifung ist trotz der begonnenen Zersetzung noch allenthalben erkennbar. Diese Feldspathkrystalle, welche vorwiegend langgestreckt, leistenähnliche Formen besitzen, sind ausserordentlich häufig zerbrochen und die Bruchstücke an der mehr oder weniger senkrecht zur Längserstreckung gerichteten Bruchlinie verworfen, so dass treppenförmig abgesetzte Umrisse zu Stande kommen; die einzelnen Bruchstücke werden durch Quarzgrundmasse getrennt. Seltener stellen sich die Bruchlinien als mit der Quarzmasse ausgefüllte Querrisse dar, indem die Bruchstücke zu beiden Seiten des Risses einfach (ohne sonstige Störung) auseinander geschoben erscheinen, die Zwillingslamellen des einen Stückes sich in dem darunter folgenden daher ohne Störung fortsetzen, die Längskanten ihrer Umrisse in der Verlängerung ineinander fallen; dabei ist aber undulöse Auslöschung in den verschiedenen Theilen sehr häufig zu bemerken.

Noch interessanter als der Erhaltungszustand des Feldspathes sind die Beziehungen der Hornblende zur Grundmasse. Bei ziemlicher Frische und ausgesprochenem Pleochroismus: // a gelbgrün bis gelblich, // b bräunlich (schmutzig) lauchgrün, // c blaugrün, erscheint dieser Bestandtheil hier einer vorwiegend mechanischen Zerkleinerung ausgesetzt gewesen zu sein, mit welcher Verkleinerung allerdings local auch chemische Veränderungen Hand in Hand gingen, sei es dadurch hervorgerufen, sei es dadurch begünstigt. Die porphyrischen Hornblendeindividuen erscheinen randlich sehr oft zernagt und in immer kleinere Körner aufgelöst, welche, anfänglich in der Nähe des Ausgangspunktes angehäuft, später

Digitized by Google

von dazwischen gedrängten Quarzkörnern weggerückt, immer weiter davon entfernt und gleichmässig in der Grundmasse verstreut werden. Während die genannten Körnchen zum grössten Theile Hornblende geblieben sind, finden sie sich local durch anfangs gleichgeformte Epidotsubstanz ersetzt, woran sich ebenso local auch selbständige Körnchenbildungen und Krystalle von Epidot, auch von Apatit und Titanit anschliessen und so kommt es, dass grössere Hornblendefragmente und deren Derivate öfters inmitten einer aus Apatitkrystallen (in typischer, manchmal scepterartiger Ausbildung), besonders aber aus Epidotkörnern und Säulchen und Quarz gebildeten Anhäufungen gelegen sind, welche bald eine den Umriss des grössten Fragmentes ergänzende Anordnung erkennen lassen, bald ganz allmählich daraus sich entwickeln wie Taf. XIX Fig. 18 (oben) ersichtlich macht. Die noch compact gebliebenen Hornblendekrystalle erscheinen durch beginnende Biotit- und Chloritbildung etwas gefleckt.

**61.** Johnson, Weber Lake. Quarzbiotitandesit. Ein zweites, vom selben Fundorte stammendes Gestein, beim ersten Anblicke dem vorigen sehr ähnlich, jedoch durch eine feinkörnigere Grundmasse sowie wasserklare, schöner zonal gebaute Plagioklase davon sich unterscheidend, gibt zu interessanten Vergleichen Anlass. Obwohl sich dasselbe bei näherer Betrachtung als sehr biotitreich erweist und demzufolge als Quarzbiotitandesit zu bezeichnen ist, sind Anzeichen vorhanden, dass dasselbe einstmals ebenso gut nur Hornblendegestein gewesen sei, wie das zuvor beschriebene. Trotzdem könnte man irre gehen, wenn man das zuvor beschriebene Gestein blos deshalb als einer älteren Bildungsepoche angehörig betrachten wollte, als das in Rede stehende Gestein: in dem einen Gestein sind eben die Plagioklase substantiell frischer, die Hornblenden dagegen fast gänzlich verändert — im andern ist beiläufig das Umgekehrte der Fall; beide Gesteine liegen jedenfalls nicht mehr im ursprünglichen, d. i. im Zustande ihrer ersten Entstehung und Verfestigung vor, die seither eingetretenen Veränderungen haben aber, von ungefähr derselben ursprünglichen Mischung ausgehend, einen etwas anderen Verlauf genommen.

Digitized by Google

Wie bereits angedeutet, ist die Grundmasse hier mikrokrystallin bis mikrofelsitisch entwickelt und besteht hauptsächlich aus einem innigen Gemenge von Quarzkörnern, sehr kleinen Biotitblättchen, etwas Plagioklasleisten und dunklen Erzpartikeln in allen möglichen Grössen.

Die Plagioklaseinsprenglinge sind ausserordentlich frisch und fast einschlussfrei, zeigen reiche Zwillingsbildung, öfters zonalen Bau und in solchem Falle bisweilen einen getrübten Kern und dürften nach ihrem optischen Verhalten zwischen Oligoklas und Labradorit schwankende Mischungen darstellen. Ein Karlsbader Zwillingskrystall dieses Feldspathes zeigt besonders deutlich die sich hier öfters wiederholende Erscheinung von Rissen nach dem verticalen Prisma, zwischen denen sich Epidotsubstanz gesetzmässig abgelagert hat; da die umliegende Plagioklassubstanz hier gerade auffallend frisch ist, so bleibt wieder die Frage offen, ob die Epidotsubstanz nicht von aussen herbeigeschafft, dort blos zum Absatze gelangte. Neben den Plagioklasen finden sich auch vereinzelte, grosse, wohlbegrenzte Quarzkrystalle unter den Einsprenglingen, was im vorigen Gestein nicht zu bemerken war.

Von Hornblende sind porphyrisch nur sehr geringe Reste zu bemerken; sie erscheint theils zu Biotit, theils zu Chlorit und Epidot umgewandelt. Der Umwandlungsprocess hat einen verschiedenartigen Verlauf genommen. Bald findet man Hornblendereste mit braunen Zersetzungflecken, an dem besser erhaltenen Rande umsäumt von kleinen braunen Biotitschuppen, die an dem ausgezackten Ende losgetrennt in der Grundmasse schwimmen (Taf. XX Fig. 19a); bald erscheint ein gänzlich in Chloritsubstanz verwandelter Hornblendekern mit einem damit fest verbundenen, ausgelappten Rande einer an Reinheit nach aussen hin allmählig zunehmenden Biotitsubstanz (Fig. 19b) versehen, wobei sich deutlich erkennen lässt, wie die Nähe eines Erzkornes auf die Ablagerung und Ansammlung von Biotitschüppchen begünstigend eingewirkt hat; — bald hat streifenweise Umwandlung der Hornblende in Biotitsubstanz mit oder ohne dieses Zwischenstadium in Chlorit stattgefunden, bald endlich finden sich vollständige Pseudomorphosen, und zwar ein wirres Aggregat von Biotitblättchen und Chloritblättchen mit einem graufaserigen nadelförmi-

Digitized by Google

gen Mineral, vermuthlich Zoisit — zusammen in ausgesprochener Hornblendeform. Am häufigsten sind die feinschuppigen Biotitkränze. Da diese auch grössere einheitliche Biotitleisten resp. -Krystalle in gleicher Weise umrahmen, so muss bezüglich dieser die Frage offen bleiben, ob sie als früher vorhanden und demgemäss im Vergleiche zu den kleinen Schüppchen als primär aufzufassen seien, was mir jedoch nicht wahrscheinlich ist.

Zerkleinerung der porphyrischen Hornblendekrystalle hat nach dem Gesagten hier wie im früher beschriebenen Gestein stattgefunden, hat jedoch hier den Charakter eines mehr chemischen, dort eines mehr mechanischen Vorganges; insbesondere hat sich im vorliegenden Falle die Lostrennung der Theile meist erst nach erfolgter chemischer Veränderung vollzogen. Die Biotitbildung auf Kosten und mit gleichzeitiger Zerstörung der Hornblende ist aber vielleicht nicht eigentlich als Product späterer Umwandlung des bereits fertigen Gesteines, sondern eher als ein bestimmtes Stadium seines Bildungsprocesses zu betrachten, das mit der Entwicklung der jetzigen Grundmasse zusammenfällt; durch die Frische der Plagioklase wird ein allgemeiner Zersetzungsprocess unwahrscheinlich gemacht.

**62.** Bodie Mine. (Von der Oberfläche.) Biotitandesit.

Bei makroskopischer Betrachtung des Schliffes heben sich von einem trüben, dichten, im durchfallenden Lichte bräunlichen, im auffallenden bläulichweissen Untergrunde braune Biotittafeln und wasserklare, sehr scharf begrenzte Einzelkrystalle und Krystallgruppen von Plagioklas ab. Unter dem Mikroskope bemerkt man vor allem, dass viele dieser Plagioklaseinsprenglinge durchlöchert sind und erkennt gleichzeitig als Ursache davon eine theilweise Umwandlung in Calcit und (seltener) Zeolithsubstanz, zwischen denen völlig frische Feldspathsubstanz mit wohlerhaltener Zwillingsstreifung in grosser Klarheit und Reinheit sehr häufig noch sichtbar ist. Dieser Feldspath ist zonal gebaut, hauptsächlich tafelförmig nach M entwickelt und im übrigen bald von P, y und den verticalen Prismenflächen, bald von den genannten Flächen und x begrenzt. Nach der Auslöschungsschiefe an Schnitten, die der

Digitized by Google

Längsfläche mehr oder weniger parallel waren, wurde er als eine zwischen Andesin und Labradorit stehende Mischung bestimmt. Die nach dem Feldspath entstandenen Calcitindividuen sind häufig zwischen Spaltrissen des Mutterminerales eingeschlossen und lassen manchmal (bezüglich ihrer beiderseitigen Spaltbarkeit) eine gewisse gesetzmässige Orientirung erkennen.

Die hauptsächlich in rechteckigen Formen oder dicken Tafeln sich präsentirenden Biotiteinsprenglinge sind zum grössten Theile faserig zersetzt, ausserdem bald gebleicht, bald dunkler gefärbt, und dann in Brauneisenerz verwandelt.

Ferner treten auch noch von Erzpartikeln schwarz umrandete, leistenförmige und schief hexagonale auch schief rhomboidische, im Innern gänzlich aus Calcitsubstanz oder einem Gemenge von Calcit und chalcedonartiger Quarzsubstanz bestehende Durchschnitte auf, welche ich namentlich wegen der Form gewisser Querschnitte für umgewandelte Hornblende zu halten geneigt bin. Die dunkle Umrandung, welche deren einstige Formen noch fixirt hat, erscheint im auffallenden Lichte grünlichgelb gefärbt, mit kleinen, metallglänzenden hellgelben Würfelchen besetzt und erweist sich grösstentheils als Schwefelkies. Aber auch in selbständigen Krystallen und Körnern, wie dort in zusammenhängenden derben Massen, ist das Schwefelmetall allenthalben im Schliffe vertheilt.

Feldspath, Biotit und die genannten Pseudomorphosen betheiligen sich unter abnehmender Grösse auch an der Zusammensetzung der Grundmasse, welche jedoch zum allergrössten Theile aus einer feingekörnelten thonigen und quarzitischen Masse besteht, die stellenweise durch büschelige Aggregation der Feldspathleistchen sowie durch sphärolithische Anordnung der Chalcedon- und Zeolithsubstanz eine granophyrische Structur annimmt, stellenweise mikrofelsitischen Character besitzt, stellenweise (an der Umrandung der sphärolithischen Gebilde) amorph erscheint. Auch ein Rutilzwilling wurde dazwischen bemerkt. Dass die den Einsprenglingen der Art nach entsprechenden Bestandtheile der Grundmasse in viel höherem Grade umgewandelt erscheinen, als die Einsprenglinge selbst, ist leicht verständlich.

Digitized by Google

**63.** Bodie. Zersetzter Hornblende-Andesit.

In einer granophyrisch gewordenen, körnig entglasten Grundmasse bemerkt man hauptsächlich Plagioklaseinsprenglinge (theilweise frisch und mit schöner Zwillingsstreifung, theilweise thonig verändert) sowie Biotitanhäufungen. Letztere machen wieder den Eindruck secundärer Bildungen nach Hornblende, welche später mit den übrigen Zersetzungsproducten in Form feinster Schüppchen auch in die Grundmasse übergiengen. Die kleinsten Körnchen der Grundmasse, die wie Globulite resp. wie körnige Entglasungsproducte aussehen, dürften zum Theile selbst feinste Zersetzungsproducte repräsentiren, zumal, da sie zuweilen Epidotkörnern ganz ähnlich werden. Auch die granophyrische Structur ist hier möglicherweise secundären Ursprunges. Ausser den genannten Gemengtheilen finden sich auch vereinzelte Quarzkörner und secundärer Quarz füllt auch die Sprünge und Adern aus, welche den Schliff durchziehen und im durchfallenden, gewöhnlichen Lichte wie leere Risse erscheinen.

**64.** Joch zwischen Princeton und Shirlock. Augit- (Hornblende-) Andesit, umgewandelt. (Vielleicht Tuff.) (In einem und demselben Schliff hätte man dann Tuffsandstein und das eingeschlossene Eruptivgestein nebeneinander.)

An der Gesteinsprobe selbst beobachtet man schon makroskopisch den Contact einer graugrünlichen, dichten mit einer etwas gröberkörnigen Masse, welche auf einem dem vorigen ähnlichen Grunde schwarze glänzende Krystalle (Augit und Hornblende), weissliche Krystallkörner (Plagioklas) und einzelne metallisch glänzende Pyritkörnchen erkennen lässt. Die grünliche Färbung rührt, wie das Mikroskop erweist, wesentlich von staubähnlich feinkörnig ausgeschiedener Epidotsubstanz her, welche übrigens an der Grenze zwischen der dichten und feinkörnigen Parthie sich in grösserer Reinheit vorfindet und schon makroskopisch als ein feines, gelbgrünes am Contacte hinziehendes Band sich bemerkbar macht. Von dieser Contactstelle wurde ein Schliff angefertigt.

In der gröberkörnigen Hälfte sind u. d. M. je nach der Beschaffenheit der Grundmasse selbst wieder zweierlei Par-

Digitized by Google

UN. CALI...

thien zu unterscheiden, solche, mit lichter, fast farbloser und darin eingelagert, rundlich begrenzte Flecken bildend — solche mit bräunlicher, mikrofelsitischer Grundmasse. Letztere gleichen in jeder Beziehung einem typischen hornblendehaltigen Augitandesite.

Die Plagioklaseinsprenglinge, zonal gebaut, durch reiche Zwillingsbildung (auch nach dem Bavenoer Gesetze) ausgezeichnet, sind bald wasserklar, bald getrübt und theilweise unter Beibehaltung der äusseren Form in Calcit umgewandelt. Nach dem optischen Verhalten gehören sie einer zwischen Andesin und Labradorit stehenden Mischung an. Bis zu winziger Grösse herabsinkend finden sie sich in Leistenform mit Quarzkörnchen und vielleicht auch etwas monoklinem Feldspathe gemischt zwischen den winzigen bräunlichen Körneraggregaten, bläulichen und farblosen Schüppchen und schwarzen Erzkörnchen, sowie vereinzelten Quarzkörnchen der (mit Entglasungs- und Zersetzungsprodukten zugleich erfüllten) Grundmasse wieder. Unter den Einsprenglingen herrscht ein verhältnissmässig wohl erhaltener Augit in schönen prismatischen Krystallen, einfachen und Wiederholungszwillingen sowie zwillingsartigen Durchkreuzungen von der bekannten Ausbildung bei weitem vor. Eigenthümlich ist nur seine durchwegs gelbliche Färbung, welche sein Aussehen im gewöhnlichen Lichte dem eines Epidotes nähert — sowie die wechselnde Art der Polarisation in bald bleichen, gelblich braunen, bläulich grauen, bald ausserordentlich lebhaften Farben, — das einzige Anzeichen beginnender Zersetzung. Neben dem Augit, jedoch in viel geringerer Menge, finden sich auch braune Hornblendekryställchen vor, welche starken Dichroismus (mit a = gelb, b = grünlich braun, c = dunkler braun) besitzen, wovon der erstgenannte Farbenton mit dem des Augites im vorliegenden Falle völlig übereinstimmt.

Die Hornblende geht randlich häufig in eine farblose Substanz über; an den Querschnitten insbesondere ist öfters deutlich wahrzunehmen, wie diese Substanz einen Hornblendekern mit einem einheitlichen, scheinbar völlig parallelen Mantel umgibt. Ein genaueres Studium dieser, den Charakter eines Umwandlungsproduktes besitzenden Randzone lehrt allerdings, dass deren Grenzlinien zu den Spaltrissen der ein-



Digitized by Google

geschlossenen Hornblende nicht völlig parallel laufen, sondern vielmehr, wiewohl symmetrisch zu den Diagonalen des Hornblendequerschnittes gelegen, einen um wenige Grade grösseren Winkel unter einander einschliessen, als er den Tracen des Hornblendeprismas zukommt. Ferner erkennt man die Selbständigkeit der äusseren Umgrenzung auch daran, dass sie über den Längsflächen des Hornblendekernes einen Winkel bildet, während sie umgekehrt da, wo die Hornblende durch die Trace einer Querfläche begrenzt ist, sich vollständig daran anschmiegt. Winkel-, Polarisationsverhältnisse und Relief machen es ziemlich wahrscheinlich, dass hier entweder Epidot- oder Titanitumrandung der Hornblende vorliegt; doch waren bei der Schmalheit des Randes und der Seltenheit der Hornblende die gebotenen Anhaltspunkte nicht ausreichend, um für das eine oder andere der beiden Minerale endgiltig zu entscheiden.

Ausser den genannten Bestandtheilen finden sich endlich noch Pseudomorphosen von Olivinform, zum grössten Theile aus nahezu isotropen, fast farblosen, wirren Blätteraggregaten von serpentinöser Substanz bestehend, zu welchen sich bisweilen noch Calcit gesellt. Apatit macht sich in schön hexagonalen Querschnitten bemerkbar.

So scharf sich nun die eben beschriebene Gesteinsparthie in gewöhnlichem Lichte durch ihre dunklere Färbung von der umliegenden lichteren Masse abhebt, so gänzlich verschwindet diese Abgrenzung im polarisirten Lichte; die Einsprenglinge insbesondere besitzen allenthalben den gleichen Charakter, gehen ohne Änderung ihres Habitus hinüber, so dass sich hieraus bereits ergibt, dass ein wesentlicher substantieller Unterschied zwischen beiden nicht besteht. Höchstens die eine Wahrnehmung kann man machen, dass die Umrisse des Plagioklases hier minder gut erhalten sind und dass die lichteren Parthien auch etwas reicher sind an offenbar secundärem Quarz. Begibt man sich nun über die durch jene dichte Körneranhäufung von Epidot markirte Grenze hinüber in die ganz dichte Gesteinsparthie, so findet man auch dort dieselben Elemente, allerdings in etwas ungleicher Vertheilung und in bedeutend verkleinertem Maassstabe wieder, so dass diese dichte Hälfte des Schliffes durchaus den Charakter einer

Digitized by Google

aus dem Zerreibsel der gröberkörnigen Hälfte hervorgegangenen Bildung an sich trägt. Bemerkenswerth ist nur der Umstand, dass die kleinen Augitsäulchen und Fragmente hier einestheils in Epidotkörner aufgelöst, anderntheils oft an den Enden zerfasert erscheinen und dass die durch fast farblose und grüne Töne auffallend dichroitischen, etwas schief auslöschenden Nadeln sich als pilitische Hornblende erweisen, so dass diese hier in zweierlei Form, ursprünglich (braun) und uralitisch (secundär) auftritt. Auch ist in dieser Parthie Epidot, Chlorit und etwas Talk oder Kaliglimmer in reichlicherer Menge enthalten.

In einem zweiten Schliffe ergaben sich fast die gleichen Verhältnisse, nur dass hier dichte und gröberkörnige, lichte und dunkle Parthien nicht so scharf getrennt waren und auch die letzteren an ihren Bestandtheilen, an den grösseren sowohl als an den kleineren, klastischen Charakter zur Schau trugen.

**65.** Hochsierra. Bronco. Plagioklasbasalt (Melaphyr). Lava.

Plagioklasleisten mit sehr blass gelblichgrünen bis bräunlichen Augitkörnchen und etwas braunem Glas bilden eine Grundmasse von diabasisch körniger (doleritischer) Structur, welche ausser dem bisweilen bräunlich zersetzten, die Formen eines Titaneisens zeigenden Erze noch Olivinpseudomorphosen in allen Grössen enthält. Die grössten davon, welche u. d. M. oft in auffallend schmalen und langgestreckt zugespitzten Formen erscheinen, und schon makroskopisch als verwitterte Einsprenglinge in die Augen fallen, bestehen aus Resten noch frischer Olivinsubstanz, aus Serpentin und Anhäufungen eines bräunlichgrünen Glimmerminerales, das sich hie und da wie Biotit verhält, hie und da selbst wieder eine Art pilitischer Zersetzung erfahren hat; ausserdem hat auch Chromit- resp. Picotitausscheidung dabei manchmal stattgefunden.

**66.** Zwei Stunden nördlich von Limekiln. Halbserpentin, aus Olivingabbro entstanden.

In einer Art Grundmasse von Serpentin, welche eine durch Erzschnüre gekennzeichnete Migrationsfluctuation zeigt, bemerkt man ziemlich zahlreiche Krystalle und Körner von



Digitized by Google

einem bisweilen diallagähnlichen Augit, zweierlei Hornblenden, die eine, mit Augit hie und da parallel verwachsene, blass gelblichgrün (a = grünlichgelb, b = dunkler, gelblichgrün, c = bräunlich), die andere, vollkommen farblos und sehr lebhaft polarisirend, ähnlich einem Tremolit, gegenüber der vorigen von secundärem Charakter, sodann hauptsächlich zwischen dunklen Erzanhäufungen gelegene, gerade auslöschende Körner von bräunlich verwitterndem Olivin, sehr wenig Plagioklasfragmente zwischengeklemmt zwischen die grossen Augit- und Hornblendereste und stellenweise ein Filzwerk von Talk und Tremolit. Limonit und dunkles unzersetztes Erz finden sich nebeneinander. Bewegungserscheinungen und Druckwirkungen sind allenthalben im Gesteine zu bemerken. In solchem Falle sieht man zwischen Spaltrissen der bräunlichen Hornblendequerschnitte gelegene, von ersteren scharf rhomboidisch begrenzte Theile von einander losgetrennt und umschlossen von gebogenen Tremolitfasern und Talkblättchen (Taf. XX Fig. 21). Letztere bilden auch drusige Nester, dabei Augitreste umschliessend. Die Fig. 20 zeigt eine parallel orientirte Ansiedlung von farblosen Strahlsteinnadeln im Zusammenhange mit einem von Erz und halbzersetztem Olivin umgebenen Augitkern, welcher an der einen Seite sich gänzlich in Serpentinsubstanz verliert. Interesse verdient dabei der Umstand, dass besonders längs der ehemals scharfen geraden Grenzlinie (rechts) zwischen Olivin und Augit sich die Tremolitnadeln angesetzt haben und zwar so, dass sie einseitig mit scharfen Kanten in die Olivinmasse hineingewachsen erscheinen. Die schwach bräunliche Hornblende hat selbst den Charakter einer uralitischen Bildung.

**67.** Eine halbe Stunde W. von Nevada City. Serpentin mit Olivinresten.

Das Muttergestein bestand jedenfalls vorherrschend aus Olivin. Es hat den Anschein, als wären grössere Olivin- und Augitindividuen hier in lauter Körner aufgelöst und diese in der fliessenden, beweglichen Masse durcheinander geschoben worden, so dass die ursprünglich zusammengehörenden Theile vielfach nicht gleichzeitig auslöschen. Die Zwischenmasse selbst wird gebildet von einem Hornblendefilz mit viel zum

Digitized by Google

Theile Antigorit ähnlichem Serpentin. Die Hornblendebildung ist secundär eingetreten; man sieht öfters schwach gefärbte Pilitbüschel im Zusammenhange mit winzigen Olivinkörnchen. Der Serpentin an sich ist farblos, dagegen finden sich zahlreiche Schnüre eines bräunlichen bis schwarzen, mitunter in scharfen Oktaëdern auskrystallisirten Erzminerales eingestreut, welche wohl gleichzeitig mit dem Serpentin entstandener Picotit sind und in ihrer Anordnung gleichfalls eine Art Fluctuation der Masse zum Ausdruck bringen.

**68.** Übergang von Nevada-City nach Grass Valley. Serpentin aus Gabbro.

Sehr blättrig und grob fasrig ist ein dunkler Serpentin vom obigen Fundort, bei welchem das Muttergestein schwer zu bestimmen ist; da er jedoch hauptsächlich das Aussehen eines Antigoritserpentins besitzt, hie und da sogar Diallagstructur verräth, so dürfte er wohl von einem Gabbro abzuleiten sein. Dunkle, flasrig gewundene, local längs einer grösseren Chrysotilader sich häufende, oder durch trübweisse Zersetzungsprodukte vertretene Erzschnüre durchziehen die bald farblosen, bald etwas gelblichen, bald rechtwinklich angeordneten, bald wirren Blätteraggregate von Serpentin. Hie und da finden sich etwas stärker conturirte, bräunlich bis grau gefärbte gerundete Körner und krystallinische Individuen, welche in der Form bisweilen einigermaassen an die Weckenform des Titanit erinnern, jedoch das einaxige Interferenzbild eines Carbonates deutlich erkennen lassen und wahrscheinlich Magnesit angehören. Auffällig ist es, dass eine Chrysotilader unter Beibehaltung der Faserstructur theilweise getrübt und in dieselbe Substanz umgewandelt erscheint.

**69.** Zwischen Pino Blanco und Herbeck (bei Coulterville). Serpentin mit Bastit. (Dabei liegt eine Probe von Quarzitsandstein.)

Dieser Serpentin dürfte aus Olivin und Pyroxenmineralen hervorgegangen sein. Wiewohl unzweifelhaft erkennbare Reste weder vom einen noch vom andern hier zur Beobachtung gelangten, so war doch ein ziemlich auffallender Wechsel in der Structur des Serpentins zu bemerken, welcher bald mehr

Digitized by Google

dem rechtwinklichen Maschennetz eines Antigoritserpentins, bald mehr der unregelmässig verschlungenen, durch Picotitanhäufungen charakterisirten Structur eines Olivinserpentins entsprach und von Chrysotiladern durchzogen wurde. Bereits makroskopisch waren im Gesteine gelbliche Blättchen sichtbar, welche als Bastit erkannt wurden, was die nähere Untersuchung bestätigte. Abgespaltene Lamellen, unter dem Mikroskope im convergenten, polarisirten Lichte betrachtet, zeigten senkrechten Austritt einer negativen Mittellinie, bei grossem Axenwinkel, matten Interferenzfarben, Lage der Axenebene parallel zur Faserung, sowie schwachen Dichroismus im parallelen Lichte und zwar blaugrau // c und gelbgrün, senkrecht dazu. Die im Schliffe beobachteten Querschnitte hatten achtseitige Umrisse und zeigten den Austritt der andern, positiven Mittellinie.

**70.** Cherokee. Gelbbrauner Gabbro-Serpentin mit porphyrisch eingesprengtem, weissem Magnesit.

In der gelblichgrünen, durch bald parallel verlaufende, bald sich kreuzende Erzschnüre schwarz gesprenkelten, von gelblichen Chrysotiladern durchzogenen Serpentinmasse, welche stellenweise Diallagstructur verräth und hauptsächlich aus ziemlich grobkrystallinisch entwickeltem Antigorit-Serpentin besteht, bemerkt man schon makroskopisch weissliche, dabei etwas durchsichtige, gerundete und eckige Körner von verschiedener Grösse porphyrisch eingesprengt. Unter dem Mikroskope zeigen die Durchschnitte dieser Körner im allgemeinen sehr unregelmässige Conturen und dabei häufig unter rechten Winkeln sich kreuzende aber auch schiefwinklich rhomboidische Spaltrisse, welche in den seltenen Fällen, wo geradlinige Umrisse vorhanden sind, diesen parallel gehen; manche endlich sind von ganz unregelmässigen Sprüngen durchsetzt. Durch Beobachtung einer verwaschenen Kreuzfigur gelang es, die optische Einaxigkeit, durch Wahrnehmung einer grossen Anzahl von Interferenzringen starke Doppelbrechung zu constatiren, welche durch die hohen Polarisationsfarben bereits angedeutet erschien. Bei Drehung des Objecttisches tritt die gewisse, später beim Magnesit (73) noch einmal zu besprechende, starke Reliefänderung ein, welche mit einem scheinbaren Pleo-

Digitized by Google

chroismus (Absorption) sich verbindet — indem die Körner bei einer gewissen Stellung derselben dunkel conturirt, mit einer rauhen Oberfläche versehen und schwach bräunlich gefärbt erscheinen, bei der dazu senkrechten Stellung dann fein umrandet, glatt und fast farblos, höchstens etwas gelblich aussehen. Die Vermuthung, dass hier ein rhomboëdrisches Carbonat und zwar Magnesit vorliege, fand in einer chemischen Prüfung ihre Bestätigung. Noch sei bemerkt, dass auch hier der Magnesit stellenweise in den Chrysotiladern auftritt, parallel zwischen dessen Fasern eingeschoben, denselben also gleichsam vertretend, oder die Fortsetzung solcher Adern bildend, besonders dort, wo sie sich mit Erzzügen kreuzen.

**71.** Serpentinzug eine halbe Stunde westlich von Nevada City. Serpentin mit braunen Kügelchen und Magnesit.

Von Interesse sind hier gewisse, im auffallenden Lichte röthlichbraune, im gebrochenen Lichte schwarzbraune, runde Kügelchen und die Vertheilung der winzigen Körner und Krystallgruppen des rhomboëdrischen Magnesites. Die Kügelchen, von denen (k) Taf. XX Fig. 22 eine Vorstellung geben mag, sind manchmal ideal kreisrund, manchmal elliptisch, manchmal einseitig abgeplattet; bisweilen ist nur noch ein Rest erhalten, der übrige Theil, dessen Contur in Ergänzung der gerundeten Aussenseite des Bruchstückes noch deutlich zu erkennen ist, erscheint unter Beibehaltung der Form mit Serpentinsubstanz ausgefüllt. Da diese Kügelchen, welche mich unwillkürlich an gewisse Partikel des Meteorstaubes von Klagenfurt erinnerten, auf jene Theile der Serpentinmasse beschränkt sind, welche das gerundete Maschennetz eines Olivinserpentins zeigen, hier entweder mitten in einem Serpentinbüschel oder auch in Hohlräumen gelegen sind, hingegen dort, wo der Serpentin durch parallele, reihenförmige Anordnung des Erzgemengtheiles, insbesondere aber auch durch die Anordnung und Vertheilung seiner Blättchen auf Herkunft aus einem Pyroxenmineral hinweist, fehlen, so möchte ich sie für Einschlüsse des ursprünglich vorhandenen Olivins, etwa für ehemalige erzreiche Glaseinschlüsse halten. Die Fäden des Maschennetzes nun werden hier gebildet theils von dunklen Erzschnüren,

Digitized by Google

theils von trübweissen, staubartigen Massen, zwischen denen sich hie und da etwas Leukoxen und Sagenit verbergen dürfte. An dieselben angesetzt, in die durch meist radialstrahlig angeordnete Serpentinbüschel ausgefüllten Maschen nach beiden Seiten hineinragend (Taf. XX Fig. 22), findet sich nun das stellenweise gelblichroth gefärbte Carbonat, welches aller Wahrscheinlichkeit nach einen eisenhaltigen magnesiareichen Dolomit darstellt. Die gelblichgrüne Färbung des in Rede stehenden Serpentins rührt von Eisenoxydul her; beim Glühen nimmt derselbe eine rothbraune, in Säure hierauf eine orangerothe Farbe an. Die dunklen Erzpartikel bleiben dabei unverändert.

**72.** Serpentinzug eine halbe Stunde westlich von Nevada City. Serpentin mit zweierlei Erz, Korund und Magnesit.

Dunkle, auf grauweissen, pulvrigen Zersetzungsproducten liegende Erzschnüre, stellenweise mit limonitischen Substanzen gemengt, und mit Magnesitindividuen besetzt, bilden wieder das rundliche Netzwerk, welches von Serpentinblättchen erfüllt wird. Die längs den Erzschnüren angesiedelten Magnesite, welche hier häufiger als in den früheren Fällen, scharfe rhomboëdrische Durchschnitte erkennen lassen, deren Kanten eine rothgelbe Färbung besitzen, sind andererseits wieder vielfach zernagt und theilweise gelöst, wobei Talkschüppchen an ihre Stelle traten. Das schwarze, im auffallenden Lichte etwas bläuliche Erz erscheint öfters in sechseckigen und gerundeten Körnern. Dieser Serpentin enthält auch winzige Korundindividuen in Form sehr stark lichtbrechender, mit der characteristischen gerundeten Begrenzung und bläulich gefleckten Färbung versehener Körner.

Auch vom Übergang zu Grass Valley und einigen anderen Punkten, wie eine Stunde von Bear Valley z. B., liegen Serpentinproben vor. Diese wurden zwar nicht näher untersucht; dem Anscheine nach dürften sie aber gleichfalls grösstentheils Gabbro-ähnlichen Gesteinen entstammen.

**73.** Serpentinzone von Washington. Magnesitausscheidung.

Aus dieser Gegend liegen pikrosminähnliche Proben, ein krystallinisches, feinkörniges Aggregat eines sehr schwach

Digitized by Google

grünlich gefärbten, rhomboëdrisch spaltbaren Minerales und ein Serpentinschliff vor, welcher viel gerade auslöschende fasrige Parthien, neben dem Maschennetz eines Olivinserpentins enthält und aller Wahrscheinlichkeit nach von einem Gabbro herrührt. Das nur stellenweise durch eine smaragdgrüne Farbennuance ausgezeichnete, im übrigen vollkommen farblose und durchsichtige oben erwähnte Mineral, erwies sich bei chemischer Untersuchung als ein nur in concentrirter Salzsäure lösliches, erst in der Wärme etwas aufbrausendes Carbonat. Die salzsaure Lösung gab keine Kalkreaction, hingegen starke Magnesiareaction und enthielt ausserdem noch etwas Fe. Unter dem Mikroskope war das Interferenzbild einaxiger Minerale wiederholt zu beobachten. Es liegt demnach eine feinkrystallinische Magnesitausscheidung aus einem Serpentin vor.

Bei dieser Gelegenheit sei nochmals hervorgehoben, dass der Magnesit, wie die rhomboëdrischen Carbonate alle, in besonderem Grade bei der Drehung des Objecttisches stets starke Absorptionsunterschiede und eine auffallende Reliefänderung zu erkennen gibt, welche Reliefänderung bei Wegnahme des unteren Nicols sich vermindert — und dass die Beachtung dieser Eigenthümlichkeit geeignet ist, die Erkennung dieses Minerales zu erleichtern, auch dort, wo die Form mangelhaft ausgebildet ist oder wegen Kleinheit eine genauere optische Prüfung nicht ausführbar ist. Es gelang mir, fast in jeder der im Vorliegenden untersuchten Serpentinproben Magnesit wenigstens in minimalen Mengen zu constatiren.

Inmitten der hier so vorherrschend und typisch ausgebildeten Magnesit-Rhomboëder, und dazwischen gestreut, finden sich im Schliffe noch Körner von Chromit oder Picotit, sowie Pyrit und Magnetkies. Im übrigen waren die Zwischenräume zwischen den Carbonatindividuen von Quarz ausgefüllt, welcher auch in Adern das Gemenge durchzieht und seine secundäre Natur überdies noch dadurch verräth, dass er mit gröberen Fragmenten oder einem staubähnlichen Zerreibsel des Magnesites, sowie mit Erzpartikeln und Zersetzungsproducten des Erzminerales erfüllt erscheint und welcher öfters optische Störungen beobachten lässt. Zu den erwähnten Zersetzungsproducten gehören theils trübweisse Massen, theils ein röth-

Digitized by Google

lich gelber Staub, in dessen Mitte einzelne typisch ausgebildete Rutilnädelchen von winzigen Dimensionen, besonders gern an Kiespartikel haftend, entdeckt wurden, hauptsächlich aber ein span- bis smaragdgrünes Mineral, welches das dunkle Erz zunächst mit einem Saum umgibt, von hier aus aber in der Regel in Streifen und Bändern den Quarzadern folgend sich zwischen diesen und dem Magnesite hinzieht, schliesslich aber in feinste Nädelchen aufgelöst und so bis zur Unkenntlichkeit farblos geworden und im einzelnen auf das polarisirte Licht nicht mehr einwirkend, sich im Quarze verliert. Dieser grüne Saum lässt in günstigen Fällen eine feinblättrige, glimmerige Structur erkennen und verhält sich dann ganz ähnlich dem Chromglimmer oder Fuchsit. Die makroskopisch bemerkte Färbung des Magnesites, welche unter dem Mikroskope nahezu vollständig verschwunden war, ist wohl lediglich auf die Einlagerung dieses an das dunkle Erz gebundenen Gemengtheiles zurückzuführen.

**74.** Indian Gulch, Abstieg gegen Bear Creek. (Einlagerung im Gneiss). Kersantitähnliche Ausscheidung im Gneiss.

Grössere und kleinere wasserklare Quarzkörner, viel oligoklasähnlicher frischer, öfters zonal gebauter Plagioklas und wenig Orthoklas in Karlsbader Zwillingen bilden mit ebenso reichlich vorhandenen Biotitschüppchen ein durchaus granitisch-körniges Gemenge. Der Glimmer erscheint weitaus zum grössten Theile parallel zur Basis durchschnitten, das einzige Anzeichen, dass man es dennoch mit einem geschichteten Gesteine zu thun haben dürfte; derselbe besitzt in diesen Schnitten eine eigenthümlich rothbraune Farbe, schwache Zweiaxigkeit und präsentirt sich von oben gesehen vorzugsweise in gerundeten, oder ausgezackten, gelappten Formen. Schnitte senkrecht oder schief zur vorherrschenden Spaltbarkeit erscheinen leistenförmig, und zwar bald ohne bald mit geradliniger, schöner Randbegrenzung durch Pyramiden- oder Prismenflächen und liefern blassgebliche sowie zimmtbraune bis nelkenbraune Farbentöne. Im Quarz und Feldspath wurden Zirkonnädelchen und Apatit in Körnern und gerundeten Säulen als Einschlüsse bemerkt. Die Erzbestandtheile, welche, ab-

Digitized by Google

gesehen von vereinzelten scharfen Magnetitoktaëdern vorzugsweise durch ziemlich reichlich vorhandenen Pyrit und etwas Magnetkies vertreten werden, sind augenscheinlich wieder im Zusammenhange mit dem Biotitmineral zur Abscheidung gelangt; der Magnetkies tritt zumeist in krystallinischen Blättchen, der Pyrit nur hie und da in unvollständigen Würfelchen, meist aber in gerundeten Körnern oder zackigen Gestalten auf, die in der Regel über Glimmer gelegen und in ihren Umrissen der Unterlage theilweise angepasst, bisweilen in Göthit verwandelt erscheinen.

**75.** Kamm westlich von Mariposa. Feldspathsandstein. (Im Schieferterrain anschliessend an den Granit-Dioritzug.)

Der vorliegende Schliff bietet eine ziemlich ungewöhnliche Zusammensetzung dar, da er fast ausschliesslich aus Feldspathindividuen, und zwar Orthoklas, besteht, Quarz in geringer Menge und von unzweifelhaften Glimmermineralen nicht eine Spur enthält. Dagegen tritt Titanit in Körnerform, in spitz rhombischen Tafeln, mit einem den Umrissen nicht vollkommen parallelen Gitter von Spaltrissen, endlich in der charakteristischen Weckenform zwar nicht in grosser Menge auf, aber sofort ins Auge fallend, desto deutlicher hervor. Der Feldspath selbst, welcher ausnahmslos durch Kaolinsubstanz getrübt erscheint, tritt hauptsächlich in Form mehr oder weniger langer Leisten, doch auch in der von unregelmässigen Körnern auf, in beiden Fällen regellos gruppirt. Die Ränder desselben sind allenthalben ausgelappt und ausgezackt, feinkörniges spärliches Quarzcement in der Regel dazwischen geschoben; aber auch da, wo diese Quarzzwischenmasse wirklich oder scheinbar fehlt und ein Individuum des Feldspathes an das andere stösst, entbehren dieselben jeder geradlinigen Umgrenzung so vollständig, dass ihnen dieser Umstand einen fragmentaren Charakter ertheilt. Einfache Individuen sind selten; sehr häufig hingegen finden sich je zwei Individuen zu einem einfachen Zwilling vereinigt, mit einer meist unsymmetrischen Auslöschung bezüglich der Zwillingsgrenze, mit zuweilen einseitiger Lage derjenigen Schwingungsrichtungen, die der Zwillingsgrenze am nächsten lagen, sowie

Digitized by Google

mit einer in der einen Hälfte der Null desto näher kommenden Auslöschungsschiefe, je mehr sich diejenige der andern Zwillingshälfte davon entfernt, kurz mit einem derartigen optischen Verhalten, wie es gerade den Orthoklaszwillingen nach dem Karlsbader Gesetze am besten entspricht. In den wenigen Fällen, wo polysynthetische Streifung zu beobachten war, trug sie gleichzeitig den keilförmigen oder gitterartigen Charakter eines Mikroklinzwillings an sich.

**76.** Schieferzone zwischen Pino Blanco und Herbeck. Quarzsandstein mit Orthoklas, Plagioklas etc.

Stammt zweifellos von einem Tuff oder einem Sandstein. Einzelne Plagioklasbruchstücke und Brocken einfachen sowohl als Aggregatquarzes, verschiedenartige Gesteinsfragmente, insbesondere ein feinkörniges Plagioklas-Gestein und ein verzahnter, durch kohlige Substanz gefärbter Quarzit werden durch ein quarzitisches Cement mit wenig Feldspath- und thonigen Elementen verkittet. Dazwischen finden sich schwarz bis grau gefärbte Substanzen, zersetzter Biotit, etwas Kaliglimmer, Erzscherben und zahlreiche braune Kügelchen, welch letztere wenigstens an ihrer Oberfläche gegenwärtig die Zusammensetzung von Eisenoxydhydrat besitzen.

**77.** Schieferzone westlich von Mariposa. Quarzreicher Sandstein mit Plagioklas und Orthoklas.

In einer hauptsächlich aus Quarz gebildeten feinkörnigen bis dichten Grundmasse sind Bruchstücke von Feldspath und Quarz, sowie grünliche, durch Eisenoxydhydrat öfters schwach gelblich gefärbte, büschelige Aggregate eines Chloritminerales, mit Epidotstaub bedeckter Zersetzungsrest eines Bisilicates — und endlich lokale Anhäufungen von Eisenoxydhydrat selbst zu bemerken, die schon makroskopisch wie rothe Pünktchen erscheinen. Der Feldspathbestandtheil, welcher im gewöhnlichen Lichte durch schwache Trübung hervortritt, wiewohl er im ganzen noch ziemlich gut erhalten ist, erweist sich grösstentheils als Plagioklas, weniger als Orthoklas in Carlsbader Zwillingen und mikroperthitischer Ausbildung. Bei stärkerer Vergrösserung sieht man aus gewissen, im auffallenden Lichte gelblichweissen, gelblichrothen, im gebrochenen

Digitized by Google

dunkel erscheinenden Klümpchen Sagenitnadeln hervorragen und daneben selbständige Nadeln und flache tafelförmige Aggregate von Rutil. Zugleich zeigte es sich jedoch, dass der grösste Theil des Eisenoxydhydrates von der Zersetzung eines eisenhaltigen Carbonates, etwa Ankerit herrührt; auf der einen Seite liegen noch frische Reste, auf der andern bereits vollständig mit Ocker erfüllte Pseudomorphosen davon vor. An der Zusammensetzung des Cementes betheiligen sich, wie es scheint, ausser dem Quarz noch etwas Feldspath, sowie feinste Schüppchen und Blättchen jenes Chloritminerales, denen auch Kaolin oder Kaliglimmer in höchst unscheinbarer Form beigegeben sein dürfte. Apatit fehlt nicht gänzlich. Von winzigen, ausserordentlich stark lichtbrechenden und doppelbrechenden gerundeten Körnern und Kryställchen, die hier sichtbar waren, vermochte ich nicht alle zu identificiren und bemerke blos, dass einige vermöge ihrer Form an Anataspyramiden erinnerten, andere hingegen Würfelform besassen, noch andere Ähnlichkeit mit Zirkon darboten.

**78.** Westlich von Mariposa. (Tuffartige Schiefer.) Dichter Sandstein oder Tuff, wahrscheinlich aus dioritischem Material.

Von obigem Fundorte stammt ein graues oder grünlichgraues völlig dichtes Gestein, welches angehaucht stark thonig riecht, Glas ritzt, selbst vom Messer geritzt ein weisses Pulver liefert, vor dem Löthrohr sich weiss brennt und zu einem gelblichgrünen Köpfchen schmilzt, was bereits auf das Vorhandensein von Feldspath, Thonmineralen, Kaliglimmer und Epidot hinweist. Unter dem Mikroskope zeigt sich dasselbe jedoch grösstentheils aus feinen, durch kohlige Substanzen schwach violett gefärbten Quarzkörnern zusammengesetzt, welche die Form eckiger Bruchstücke besitzen, durch secundären Quarz verkittet und von Schnüren einer feinstfasrigen bis schuppigen krümlichen, thonigen, glimmerigen und chloritischen Substanz umzogen sind. Gelegentlich sind auch Chalcedonnester, Epidot, Kaolinschüppchen, grössere Chlorit- und zersetzte Glimmerblättchen, zersetzte Erzpartikel und einzelne sehr stark lichtbrechende, lebhaft polarisirende, rundliche Zirkonkörner eingestreut.

Digitized by Google

79. Horseshoe-Bend (Einlagerung in der Diabas-Dioritzone). Tuff aus diabasischem und dioritischem Material.

Hier ist wieder ein gröberkörniges Gemenge im Contact mit einer epidotgrünen, dichten, felsitischen, harten Masse und stehen beide in einem ähnlichen Verhältniss zu einander wie in dem Gestein von 64. Die gröberkörnige Parthie setzt sich aus Gesteins- und Krystallfragmenten zusammen, welche durch ein ähnliches Cement verkittet werden, wie das im anstossenden, dichten, klastischen Gestein herrschende Gemenge und woran Epidotstaub und Quarz und zwar der erstere in hervorragendem Maasse betheiligt sind. Unter den Bruchstücken sind ein gelblichweisser (zuweilen auch etwas pleochroitischer) Augit z. Th. mit polysynthetischer Zwillingslamellirung, ferner schwach pleochroitische, bräunliche (gelbe bis schmutzig bräunlichgrüne) Hornblende, gleichfalls in Zwillingsindividuen, sodann Chlorit und Gruppen von Plagioklaskrystallen mit Bestimmtheit nachzuweisen. Grün gefärbte Feldspathpseudomorphosen bestehen theils aus grünen, theils aus grauen, körnigen Produkten, welche in farblose nakrit- und kaolinähnliche, sehr schwach polarisirende Substanzen übergehen. Die grüne Färbung rührt her von wulstförmigen Chloritanhäufungen, welche stark dichroitisch sind (gelbe bis grüne Farben liefern) und Aggregatpolarisation erzeugen. Sie verhalten sich ähnlich wie Ripidolith. Calcit ist in grossen und in winzigen Individuen vorhanden. Die Gesteinsfragmente beziehen sich hauptsächlich auf einen Hornblende-Augitporphyrit mit mikrofelsitischer und aus feinkörnigem Quarzgemenge zusammengesetzter Basis.

Limonit und Pyrit wurden hier, sowie besonders in dem angrenzenden, dichten, klastischen Gesteine in ziemlicher Menge angetroffen. Dieses dichte Gestein, welches auffallend hart ist und Glas mit grosser Leichtigkeit ritzt, verdankt seine Farbe zumeist fein vertheiltem, reichlich vorhandenen Epidotstaub, welcher mit viel felsitischem Quarz den Untergrund bildet, auf welchem gleichfalls noch sehr winzige Augitzerreibsel, Quarzsplitter, etwas Carbonat und Feldspathzerreibsel sichtbar werden. Die ganze Masse dürfte noch hinterher gleichmässig verkieselt worden sein; — die ursprüngliche

Digitized by Google

Ungleichheit macht sich nun durch den fleckenweise unregelmässigen Wechsel in Korngrösse und Dichte des färbenden Epidotgehaltes noch einigermaassen geltend.

**80.** Westlich von Hornitos. Grünschiefer.

Die Textur dieses Gesteines wird bestimmt durch die nesterförmigen Anhäufungen gewisser Gemengtheile, wie des Feldspathes, des (übrigens nur in wenigen zersetzten Resten vorhandenen) Biotites und des Epidotes, durch den porphyrischen Charakter der als ursprünglich zu betrachtenden Gemengtheile, besonders des Feldspathes und durch die in der Anordnung der secundären Gemengtheile, nämlich Quarz, Chlorit und Epidot zu Tage tretenden Parallelstructur, welche die Schieferung des Gesteines bedingt. Die Feldspathkrystalle und Krystallfragmente, welche sich durchwegs als Plagioklas erweisen, bilden bald knotenförmige Anhäufungen, bald schwimmen sie einzeln, jedoch ganz unregelmässig gelagert, in einer feinkörnigen, aus Quarzkörnern, Chloritblättchen, Epidot- und Titanitkörnern gebildeten Grundmasse, in welcher nur selten kleinere Feldspathfragmente und feine Plagioklasleisten anzutreffen sind. Der Feldspath ist vielfach von Rissen durchzogen und theilweise mit Zersetzungsprodukten, namentlich mit Calcitkörnern und Zoisitstaub erfüllt; aber auch Chlorit und Epidot erscheinen zuweilen parallel zu gewissen krystallographischen Richtungen (so zu Zwillingsstreifung) eingelagert, offenbar von aussen eingezogen. Chloritflasern und Epidotströme umfliessen öfters diese eingestreuten Plagioklaskrystalle und erzeugen da, wo die letzteren dicht gedrängt liegen, im Groben eine Art Maschennetz.

Allein mit dieser Migrationsstructur verbindet sich gleichzeitig Parallelstructur in der Weise, dass innerhalb der zugleich mit der ersteren erzeugten Chloritadern und Epidotschnüre, unbekümmert um den Verlauf, den sie im einzelnen nehmen, durch den ganzen Schliff hin im Grossen und Ganzen völlige Parallelstellung der einzelnen Epidotsäulchen und der in gleicher Weise nach einer Richtung vorherrschend entwickelten und länger gestreckten Chloritblättchen und Quarzkeile ganz ebenso stattfindet, wie in der umliegenden, gleichförmig ausgebildeten Grundmasse. Taf. XX Fig. 23 zeigt

Digitized by Google

eine Anhäufung von Plagioklaskrystallen, zwischen denen solche gröber krystallinische Adern hindurchziehen. Interessant ist es dabei, zu sehen, wie die secundären Produkte in den späteren Phasen der Gesteinsentwickelung in die sich ihnen entgegenstellenden Feldspathe (offenbar auf den durch Druck entstandenen Capillarrissen) und zwar mitunter auch in solchen Richtungen sich vorschieben, die gar keiner Structurlinie derselben entsprechen. Man begreift, wie bei weiterer Ausdehnung dieses Vorganges nicht nur die Umrisse, sondern auch die innere Structur des ursprünglichen Feldspathgemengtheiles sehr bald unkenntlich werden und schliesslich ganz verloren gehen muss. In anderen Fällen ist allerdings ein orientirender Einfluss der Einsprenglinge auf die Anlagerung der secundären Produkte unverkennbar. So erscheinen dieselben am häufigsten als Ansatzstellen neugebildeter Hornblende.

Ausser bräunlich gefärbten Hornblendefragmenten, welche sich nur im Querschnitte als solche verrathen, ist nämlich auch etwas strahlsteinartige Hornblende (// a gelb, // b und c blaugrün) zu beobachten, welche den Chlorit stellenweise geradezu vertritt. Hier wie bei dem gröberstengligen Epidot hat man es offenbar mit Produkten der Umkrystallisation zu thun und insbesondere bei letzterem ist das Hervorwachsen aus dichtem Zoisitstaub in diesem Schliffe in verschiedenen Stadien mit ziemlicher Sicherheit zu verfolgen. Von Erzmineralen seien noch Göthit, mit sehr kleinem Pyritkern, sowie Titaneisen mit Leukoxenrand hier erwähnt.

## III. Übersicht der Resultate.

### IIIa. Die in den beschriebenen Gesteinen auftretenden Minerale.

Nachstehend werden alle wichtigeren, die einzelnen Gesteinsgemengtheile, deren Eigenthümlichkeiten und Wechselbeziehungen betreffenden Beobachtungen nochmals verknüpft, zusammengefasst und in Vergleich gebracht.

#### Feldspath.

Der Feldspathgemengtheil der vorliegenden Gesteine erwies sich zum grössten Theile als Plagioklas. Orthoklastische Feldspathe und Mikroklin wurden, vorwiegend, nur in den

Digitized by Google

CALIFORNIA

Graniten constatirt. Im Granit (1) wurde vom Mikroklinfeldspath erwähnt, dass hier die sonst so charakteristischen Albitbänder fehlen, im Feldspathsandstein (75) wurde das optische Verhalten Karlsbader Orthoklaszwillinge besprochen.

Sonst war fast immer Plagioklas daneben oder allein vorhanden. In einer grösseren Anzahl von Fällen wurde die Plagioklasmischung im Anschlusse an die Methode von Michel Lévy im Schliffe auf optischem Wege bestimmt. So führte die Untersuchung der optischen Orientirung in charakteristischen Schnitten im Quarzhornblendeandesit (60) auf einen Kaliplagioklas, im Hornblendeporphyrit (36) auf einen Oligoklasalbit oder gleichfalls Anorthoklas, im zersetzten Quarzdiorit (19) auf Oligoklas, im Hornblendeporphyrit (31) auf Oligoklasalbit; auf einen Oligoklas-Andesin ähnlichen Feldspath im Glimmerdiorit (39), auf typische Andesintafeln (mit P, x, y und M) im Diabasporphyrit (47); im Augitporphyrit (48) und im Biotitandesit (62) auf einen Andesin-Labradorit, im letzteren Falle von der Form P, M, y, x, l, T (mit orientirt eingewachsenem Calcit), auf die gleiche Mischung in einer plagioklasreichen Ausscheidung im Biotitgranit, auf eine zwischen Oligoklas, Andesin und Labradorit schwankende Mischung im ähnlichen Falle (6); typischer Labradorit wurde constatirt im Diallag-Quarzkersantit (41), Labradorit oder eine basischere Mischung (mit heller Randzone) im Quarzbiotitdiorit (12), eine von Labradorit bis Bytownit schwankende Mischung im Biotit-Hornblende-Gabbro (50), ein Bytownit-Anorthitfeldspath im Pilitgabbro (52) und reiner Anorthit im Olivingabbro (56).

Wo es anging, wurden die im Schliffe vorgenommenen optischen Bestimmungen durch Beobachtungen an Spaltblättchen controlirt und jedesmal ergab sich recht befriedigende, zuweilen überraschende Übereinstimmung. So war z. B. der Plagioklas im Olivindiabas (55) im Schliffe als Bytownit bestimmt worden. Spaltblättchen ergaben auf P 17°, auf M — 26,5° Auslöschungsschiefe, also Werthe, die für einen echten Bytownit von der Mischung $Ab_1 An_3$ (wofür die Theorie — 17°40′ und — 26° fordert) typisch sind.

Sämmtliche Arten von Zwillingsbildung wurden an den Plagioklasen beobachtet; so beispielsweise auch Bavenoer Zwillinge am Labradorit-Andesin im Augitandesit (64). Häufige



Digitized by Google

Leistenform derselben in scheinbaren Dioritgesteinen, die sich von Diabasen ableiten dürften, wurde öfters hervorgehoben, so im Dioritporphyrit (37), wo Feldspath durch Chalcedon verdrängt erscheint. Plagioklas in Orthoklas eingewachsen wird im syenitischen Diorit (42), Kaliglimmer gleich einer Zwillingslamelle zwischen benachbarte Zwillingsindividuen eingeschoben im Biotitquarzdiorit (20) und (6'), Pyrophyllit, strahlig um Feldspath angeordnet im Gneissgranit (8), Zoisit typisch im Feldspath vom Quarzdiorit (17) erwähnt. Plagioklaskrystalle mit kaolinisirtem Kerne fanden sich z. B. im Biotitquarzdiorit (20), regelmässig angeordnete, veränderte Pyroxeneinschlüsse im Feldspath des Diabasporphyrit (45), alle andern Hauptgemengtheile (Augit, Hornblende, Biotit) eingeschlossen im Feldspath des syenitischen Diorites (42). Von charakteristischen, rechteckigen, flachen, reihenweise geordneten Mikroplakiten im Plagioklasfeldspath erwiesen sich einige selbst wieder als Plagioklas.

Eine sonderbare Verwachsung von Augit und Feldspath, wo zwei parallele Längskanten des Plagioklasindividuums dem Orthopinakoid des Augites, die feine Zwillingsstreifung des Plagioklases hingegen den nadelförmigen Einschlüssen des umhüllenden Diallages, welche der Richtung der aufrechten Axe in letzterem entsprechen, parallel erscheinen, wurde aus dem Olivingabbro (56), eine ähnliche gesetzmässige Orientirung aus dem Olivindiabas (55) erwähnt, wo die Längsfläche des eingeschlossenen Plagioklases einer verticalen Prismenfläche des Augites parallel liegt.

Was das sonstige Verhalten zu anderen Gemengtheilen, Erhaltungszustand und Lagerung betrifft, so wurde z. B. im Diabasporphyrit (45) die Beobachtung gemacht, dass da, wo Uralitsubstanz an die Ränder der Plagioklasleisten angrenzt, letztere vielfach wie zerfressen und angenagt (wie theilweise gelöst), neben Augit hingegen ihre Umrisse besser erhalten erscheinen. Ferner fanden sich im Diabasporphyrit (46) die dort eigenthümlich gerundete Leistchen und rhomboidische Täfelchen darstellenden Feldspathe nur mit ihren in den Chloritanhäufungen gelegenen (in Chloritpseudomorphosen bisweilen hineinragenden) Enden gut erhalten, sowohl bezüglich Umriss als Substanz, während sie nebenan ganz zerstört waren.

Digitized by Google

Im Olivindiabas (55) stellt sich umgekehrt der schwarze Faserrand der Augite gerade beim Angrenzen an den Plagioklas ein, während zwischen Olivin und Feldspath pilitische Kränze mit Spinell? gemengt auftreten.

Im uralitisirten Diabas (44) konnte darauf hingewiesen werden, wie leicht Feldspathreste, durch secundäre Produkte verdeckt, der Aufmerksamkeit entgehen können. Im Grünschiefer (80) wurde gezeigt, wie die secundären Gemengtheile in die sich ihnen entgegenstellenden Feldspathe auf Capillarspalten auch in solchen Richtungen (der späteren Schieferung entsprechend) sich eindrängen, welche nicht zu den Structurlinien des Feldspathes gehören und wie dann dieser Gemengtheil auf solche Weise bis zur Unkenntlichkeit entstellt werden kann.

Für locale, totale Umwandlung in Calcit und Zeolithsubstanz (zwischen völlig frischer Substanz) bot Biotitandesit (62) ein Beispiel. Im Uralit-Gabbro (51), wo ursprünglich kalkreicher Bytownit vorgelegen haben dürfte, fand sich der Feldspathgemengtheil einmal unter Erhaltung des Umrisses in ein saussuritisches Gemenge von Pyrophyllitblättchen und Zoisitstaub aufgelöst, aus welchem sodann (unter Zerstörung des Umrisses), — gleichsam gespaltene Bytownitmischung darstellend, — zweierlei Feldspath, nämlich Albit und mikroperthitischer Orthoklas und Mikroklin) sich, wie es scheint, herausbildeten, wobei letzterer umkrystallisirten Epidot in sich aufnahm. Beide Fälle, wo einmal die Feldspathform erhalten, das Innere gänzlich zerstört ist, oder umgekehrt zwischen gröberen Zersetzungsprodukten die Structur stellenweise erhalten blieb, der Umriss dagegen gänzlich verloren gegangen, fanden sich auch im saussuritischen Gabbro (54) nebeneinander vor.

### Hornblende.

Diese war, abgesehen vom Quarz, der in den vorliegenden Gesteinen am häufigsten wiederkehrende Bestandtheil. Ihr Pleochroismus war durch folgende Axenfarben characterisirt:



Digitized by Google

| a | b | c | |
|---|---|---|---|
| gelblichweiss | bräunlich (am dunkelsten) | bräunlichgrün | sehr blasse Faserhornblende im Dioritporphyrit (45) |
| weisslichgrün | etwas dunkler, bräunlichgrün | blaugrün | compacte Hornblende (in Biotitform) Kersantit (10) |
| fast farblos bis gelbgrün | lauchgrün (dunkler) | blaugrün | Uralit im uralitis. Diabas (44) |
| blassstrohgelb | blass bräunlichgrün | grünlichbraun (am dunkelsten) | zersetzter Dioritporphyrit (Tuff?) (37) |
| blassgelbbraun bis strohgelb | schmutziggrün | blaugrün | Dioritporphyrite (31) und (36) |
| licht gelblichbraun | — | dunkelbraun | akmitähnlich zugespitzt, im Hornblendeporphyrit (33) |
| bräunlichgelb | grünlich- bis rein braun | — | Quarzbiotitdiorit (21) |
| bräunlichgelb | braungrün | dunkel bläulichgrün | typischer Quarzdiorit (15) |
| gelb | grünlichbraun | dunkelbraun | Augitandesit (Tuff?) (36), ein Farbenton mit dem Augit gemeinsam |
| gelb | lauch- (braun) grün | blaugrün | Uralit-Gabbro (51) |
| gelb | schwarzbraun bis schwarzgrün | blaugrün | Biotitquarzdiorit (6') |
| gelb | gelbgrün | blaugrün | grobkörniger Diorit (23) |
| gelb | saftgrün | blaugrün | amphibolitähnl. Ausscheidung im Diorit (14) |
| gelblich | blassgrün | bläulich | Glimmerdiorit (39) |
| gelblich | schmutziggrün | blau | Epidotis. Diorit (Tuff) (28) |
| gelb | — | blaugrün | Biotitquarzdiorit (20) und Faserhornblende im Grünschiefer (30) |
| schön gelblich bis gelblichgrün | lauch- bis schwarzgrün | blaugrün | Quarzdiorit (10) |
| schöngelblichgrün | lauch- (bräunlichgrün) | blau- (dunkel) grün | Quarzbiotitdiorit (12), zersetzt |
| gelbgrün | — | blaugrün | Quarzdiorit (19), zersetzt |
| gelbgrün | spangrün | blaugrün | mit Turmalin (13) |
| schmutzig grünlichgelb | dunkel bräunlichgrün | bläulichgrün (in wechselnder Intensit.) | Quarzdiorit mit Pilit (18) und ebenso im porphyroid. Aktinolithschiefer (38) |

Digitized by Google

| a | b | c | |
|---|---|---|---|
| satt grüngelb | dunkel lauchgrün | blau- bis spangrün | Biotit-Hornblende-Gabbro (50) |
| blass gelblichgrün | graugrün | (dunkler) grünlichblau | Hornblendeporphyrit (35) |
| gelblich bis gelbgrün | bräunlich- (schmutzig) lauchgrün | blaugrün | Quarzhornblendeandesit (60) |
| gelbgrün | schmutziggrün | — | Dioritporphyrit (32) |

Aber auch zweierlei Hornblenden wurden neben einander gefunden: z. B. im Grünschiefer (80) eine grüne mit a = gelb, b und c = blaugrün, neben bräunlicher Hornblende; ferner im Halbserpentin (66) eine blassgelblichgrüne mit a = grünlichgelb, b (dunkler) = gelblichgrün, c = bräunlich, mit uralitischem Character, und daneben farbloser, neugebildeter Tremolit; im Epidiorit (27) wieder eine lichte Hornblende mit a = gelblich, c (dunkler) = grünlichgelb und eine dunklere (früher gebildete?) mit a = gelb, b und c = braun; endlich im Quarzdiorit (17) neben einer dunkleren Hornblende mit a = bräunlichgelb, b = dunkelbraungrün (lauchgrün), c = blaugrün, eine sehr blassgrüne fast gar nicht dichroitische Hornblende. Aus der hier gegebenen Übersicht ist zu ersehen, dass die meisten der zur Untersuchung gelangten Hornblenden für Schwingungen parallel zu a gelbliche, // b grünliche, // c bläuliche Farbentöne besassen. Mit ganz vereinzelten Ausnahmen (6′) war der erste Ton am hellsten, der letzte am dunkelsten. Braune Farben traten viel seltener auf — dann gewöhnlich mit einer der angeführten entsprechenden Nuancirung.

Die Hornblende wurde zumeist in Körnerform angetroffen und dann in der Regel mit wenig gut erhaltenen Umrissen. Akmitähnlich zugespitzte, an den Enden ausgefaserte Hornblende wurde aus dem Hornblendeporphyrit (33), säulenförmig ausgebildete, gleichfalls an den Enden stark zugespitzte, in der Umgebung eingelagerter Erzpartikel bräunlich gefleckte Hornblende aus Dioritporphyrit (31) erwähnt. Im porphyroiden Aktinolithschiefer (38), wo die langen Hornblendenadeln durch ihre Anordnung an der Erzeugung der Parallelstructur

Digitized by Google

hervorragenden Antheil nehmen, passen sie sich derselben durch gelegentliche Ausbildung der Querflächen an. Beide verticalen Pinakoidflächen wurden u. a. an der Hornblende im Dioritporphyrit (32) beobachtet; eigenthümlich ausgezackt erschienen die Querschnitte der grösseren Krystalle im Diorit (14). Polysynthetische Zwillinge wurden vielfach beobachtet, besonders am Uralit, ein einfacher Zwilling, mit zahnartig eingreifender, schief verlaufender gegenseitiger Abgrenzung der Individuen im Diabasporphyrit (45).

Im Diabastuff (28) erschien frisch und compact aussehende Hornblende mit Augitquerschnitt. Innige Verwachsungen von Biotit und Hornblende fanden sich wiederholt, so in den Quarzdioriten (20) und (21), noch häufiger diejenigen von Hornblende und Augit, bald etwas undeutlich, wie im Quarzdiorit (10), bald deutlicher, wie im syenitischen Diorit (42), immer der Augit innen, dabei Kern und Hülle (z. B. im Diabasporphyrit (45)) bald beide unregelmässig, bald in der Form einander wiederholend, und endlich local ein Gemisch beider Minerale. Im Hornblende-Gabbro (50) tritt die Hornblende in enge Beziehungen zum stark pleochroitischen Augit, ihn umschliessend, seine ausgezackten Ränder ausfüllend. Im Quarzdiorit (21) werden lichtgrüne Augitmikrolithe von Körnerform und dunkelblaugrüne Hornblendemikrolithe von Nadelform durch Quarz umschlossen; dieselben sind öfters verwachsen und dann derart orientirt, dass die Spaltrisse, welche die Verticalaxe des auflagernden Augitkornes markiren, mit der Längsrichtung der Hornblendenadeln zusammenfallen. Zum Theil in der Form und zum Theil mit der Structur des Biotites fand sich compacte Hornblende im kersantitischen Theile des Schliffes (10), schöner noch Faserhornblende an Stelle des Biotites im Schliffe (10′) von unbekanntem Fundorte.

Anzeichen mechanischer und chemischer Umformung der Hornblende wurden sehr häufig bemerkt. Im Quarzbiotitdiorit (12) und ebenso im Quarzdiorit (17) fanden sich die ursprünglichen Umrisse der Hornblende theilweise durch Quarz ergänzt. Zweifellos dynamometamorphe Umwandlung in Biotit zeigte sich z. B. im Quarzdiorit (18) und ähnliches Verhalten im Dioritporphyrit (32). Mechanische Zerkleinerung der Hornblende unter gleichzeitiger oder bei nachheriger chemischer

Digitized by Google

Veränderung (Auftreten von Flecken durch beginnende Biotit- und Chloritbildung) wurde im Hornblendeandesit (60), Lostrennung der Theilchen nach vorausgegangener, chemischer Veränderung (Biotitbildung) im Quarzhornblendeandesit (61) beschrieben. Im Quarzdiorit (19) scheint die an ihren Enden öfters ausgefaserte und zugleich umgebogene Hornblende gleichfalls einer theilweisen Erweichung und Auflösung bei gleichzeitiger Pressung ausgesetzt gewesen zu sein. Stellenweise scharfe Umgrenzung, stellenweise unregelmässig abgebrochene Conturen und Auflösung in die Grundmasse wurde aus dem Hornblendefels (44), randliche Chloritbildung unter Abblätterung auch aus den Dioritporphyriten (31) und (36) beschrieben, sowie theilweise Verflüssigung und Neuansatz in Pilitform aus dem Quarzdiorit (18).

Im Biotitandesit (62) erscheint die Hornblende in Calcit und Chalcedon umgewandelt, im Augitandesit (64) besitzt sie einen Epidot- oder Titanitrand. In der amphibolitischen Ausscheidung (14) erscheinen die kleinen Kryställchen und Nädelchen so gruppirt, als wären sie (unter Bildung von Biotitschüppchen) aus dem Zerfall der grösseren hervorgegangen. Mehrfache (mindestens zweifache) Veränderung zeigt die Hornblende im Quarzdiorit, Schliff (17), wo sie bald zur Hälfte völlig ausgeblasst, bald, an anderen Stellen, in Chlorit verwandelt erscheint und vermuthlich auch Chloritoid als Zwischenstadium auftritt.

Besonders häufig war die Hornblende selbst secundärer Natur, und zumeist nach Augit gebildet. Dies galt namentlich von der Faserhornblende, obwohl auch bei scheinbar compacter Hornblende zuweilen Anzeichen secundärer Entstehung vorhanden waren, wie im Hornblendeporphyrit (35). Uralitcharacter der fasrigen Hornblende wurde sowohl makroskopisch als mikroskopisch constatirt, z. B. im Hornblendefels (44). Verhältnissmässig grobkörnige Uralitpseudomorphosen, hie und da, bei wirrer Lagerung der Individuen, fast wie dichter Amphibolit aussehend, wurden aus Saussurit-Gabbro (51) beschrieben. Im Innern mengt sich an gepressten Stellen dort Chlorit hinein. Je näher dem Rande, desto dunkler wird die Hornblende. Die Verschiedenheit zwischen Rand und Kern tritt in diesen Pseudomorphosen nur bei ge-

Digitized by Google

wissen Stellungen hervor. An dem Ende der Verticalaxe geht der Rand oft in nadelförmige Spitzen aus, welche in polysynthetischer Zwillingsstellung sich befindende Hornblendeindividuen darstellen; die Seitenränder hingegen sind scharf begrenzt oder reihenweise losgebrochen und abgeblättert, in dem Maasse, in welchem nebenan der Feldspath von der Umwandlung ergriffen wurde. Bei und neben so hochkrystallinischer Uralitentwicklung wurden doch auch noch Augitreste im Schliffe gefunden, die einen nur schmalen Uralitsaum besassen. Ein solcher fand sich auch an den grossen Augiten im Diabas (43) vor, während die kleineren, gleichsam die Grundmasse bildenden, sämmtlich gänzlich in Uralit verwandelt waren und ähnlich im Epidiorit (27). Uralit und Diallag erschienen gemischt im Diallag-Gabbro (49). Im Hornblendefels (44) wurde ein längs eines zur Zwillingsgrenze senkrecht verlaufenden Risses verschobener einfacher Uralitzwillingskrystall beobachtet.

Im Diabas (43) wurde stufenweises Fortschreiten des Uralitisirungsprocesses eingehender studirt und beschrieben, wie der eindringende Uralit der verschiedenen an den Augit-Krystallen sich vorfindenden Spaltensysteme sich bemächtigt, wie ferner einseitige Druckwirkungen und Verschiebungen durch den Verlauf der Uralitisirung wiedergegeben werden und der Uralit eventuell auch die polysynthetische Zwillingsbildung des Augites, nur noch in viel höherem Grade und noch feinerer Wiederholung übernommen hat. Folgende Phasen des Processes werden hier unterschieden: Zuerst entsteht ein schwach bräunliches, bronzitähnliches Faseraggregat, welches vom Rande her oder auf Querspalten sich entwickelt. Dieses geht nach aussen zu in entschieden blaugrüne, pleochroitische Hornblende über. Der halb umgewandelte Augit ist es, welcher hier Diallag-ähnliches Aussehen besitzt. Das eben beschriebene Vorschreiten der Uralitbildung spricht nicht dafür, dass man den Uralit lediglich als umgestandenen, paramorphen Augit betrachten dürfe.

In der pilitischen Ausbildung der Faserhornblende verräth sich zumeist die ehemalige Gegenwart von Olivin, z. B. im Diabas (44), im Augitandesit (resp. Melaphyr?) (64) und in anderen Gesteinen; im Biotitgranit (7) erschien die Horn-

Digitized by Google

blende aber ebenso feinfasrig nach Biotit. Typischer Pilit neben Faserhornblende vom Uralitcharacter fand sich im Gabbro (52).

### Augit.

Seine häufigen Beziehungen zur Hornblende wurden bereits behandelt. Da, wo er mit der Hornblende zusammen vorkommt, ohne von ihr umhüllt zu sein, so z. B. im Zwischengestein zwischen Syenit und Diorit (42), wo er zugleich als Einschluss sowohl im Biotit als im Feldspath auftritt, besitzt er in der Regel bessere Umrisse als die Hornblende. Im Diabasporphyrit (47) deuten die häufig wiederkehrenden achteckigen Umrisse solcher Augitdurchschnitte, die vermöge ihrer sonstigen Beschaffenheit der verticalen Zone angehören, auf eine reichere Kombinationsentwicklung.

Zwillinge, sowohl einfache, Berührungs- und Durchkreuzungszwillinge, wie im Augitandesit (64), als auch polysynthetische Zwillinge, wie im Diallaggabbro (49) wurden häufig beobachtet; im letzteren Gestein wurde auch die Ähnlichkeit gewisser Diallagdurchschnitte mit Hornblendequerschnitten betont. Diese kam besonders bei secundärer Zwillingslamellirung des Diallages nach der Endfläche zum Vorschein, wie solche auch im Olivin-Gabbro (56) vorhanden ist, wo die feinen Lamellen mit Erz erfüllt erscheinen und die Färbung des Augites überhaupt sich mit der Diallagstructur zugleich erst einstellt.

Im Diallag-Quarzkersantit (41) wurde dem Studium des Augitminerales grössere Aufmerksamkeit zugewendet. Es wurde zunächst das variable Aussehen desselben betont, welches bald an Diallag, bald an Enstatit erinnert, bald einem gemeinen Augite gleichkommt; die damit Hand in Hand gehende Verschiedenheit in den Polarisationsverhältnissen wurde besprochen. Constatiren liess sich nur Anwesenheit monoklinen Augites. Ein sehr characteristischer Schnitt durch einen ungewöhnlich ausgebildeten Zwilling nach (100) gab Anlass zur Erörterung. Der Zwilling ist so ausgebildet, dass die Individuen nach einer Fläche des verticalen Prismas verwachsen erscheinen, weshalb sie in der Schnittfläche, welche der Zone [(100) (001)] angehört, neben einander liegen. Der Schnitt ist in beiden Individuen je einer gegen die Verticalaxe der-

Digitized by Google

selben ungefähr gleichgeneigten Fläche dieser Zone parallel und steht in Folge dessen senkrecht — in dem einen zur positiven und im andern zur negativen Mittellinie; es bot sich also hier die gewiss seltene Gelegenheit dar, die Interferenzerscheinungen und Polarisationsverhältnisse um beide Mittellinien, neben einander und so zu sagen gleichzeitig zu betrachten.

Monokliner Augit, vom Habitus und Pleochroismus des Hypersthen, wurde im Biotit-Hornblende-Gabbro (50) constatirt. Dieser Pleochroismus veranlasste in Querschnitten einen Farbenwechsel zwischen hyacinthroth bis nelkenbraun und blass gelblichgrün, in einer der Verticalaxe genäherten Richtung ergaben sich blaue Nuancen von grün. Die sonstige optische Orientirung entsprach hingegen einem monoklinen Augit. Der für einen solchen etwas fremdartige Habitus wurde mit Zersetzungserscheinungen in Zusammenhang gebracht. In ähnlicher Weise wurde auch die schwach gelbliche Färbung des Augites im Diabasporphyrit (46) und Augitandesit-Tuff (64) im gewöhnlichen Lichte, die sehr wechselnde Art der Polarisation zwischen gekreuzten Nicols als Anzeichen beginnender Zersetzung aufgefasst.

Gesetzmässige Verwachsung von Plagioklas und Augit, in gewissen Gabbros, wurde bereits früher erwähnt, ebenso der schwarze Faserrand der sich (im Olivingabbro (31) unter andern) in dem Augite angrenzend an die Plagioklase bisweilen einstellt. Im Diallag-Quarzkersantit (41) geht Biotit sehr häufig eine Art gesetzmässiger Verwachsung damit ein, indem die Glimmerblättchen an die Augite im Querschnitte so angeschmiegt und angesetzt erscheinen, dass ihre vollkommene Spaltbarkeit der feinen Faserung im Augit, respective der Querfläche desselben parallel verläuft.

Eine orientirte Ansiedlung farblosen Tremolites an einem von Erz und halbzersetztem Olivin umgebenen Augitkern wurde aus dem Halbserpentin (66) beschrieben, wo sich die Tremolitnädelchen (im Querschnitte) an die local scharfgezogene Grenze zwischen Augit und Olivin ansetzen, aber nur einseitig, nämlich in den Olivin hineinwachsen. Die Beobachtungen bezüglich genetischer Beziehungen zwischen Augit und Hornblende wurden grösstentheils beim Uralit besprochen. Dass

Digitized by Google

dort, wo der Augit in allen Grössenverhältnissen auftritt, die kleinen häufig gänzlich in Uralit verwandelt sind, während die grossen kaum einen Uralitsaum besitzen, dass überhaupt völlig frische und völlig zersetzte Augite öfters nebeneinander vorkommen, und wie leicht Augitreste der Aufmerksamkeit entgehen können, wurde ebenfalls bereits hervorgehoben. Hier sei nur noch erwähnt, dass die im Hornblendefels (44) erst nach anderweitiger Constatirung des Uralitcharacters der betreffenden Hornblende mit Sicherheit erkennbaren Augitreste kleinste ausgezackte Körner darstellten, die den Olivinresten in Serpentinen im Ansehen völlig gleichen und dass andererseits zuweilen lokaler Rückgang in der Augitumwandlung vermuthet werden musste.

Bronzite spielen in den untersuchten Gesteinen jedenfalls eine höchst untergeordnete Rolle.

### Biotit.

Von Glimmermineralen gewinnt in den beschriebenen Gesteinen nur Biotit, sowohl ursprünglicher als secundärer, grössere Bedeutung. Braune, intensive Färbung ist besonders für den ersteren, grüne für den letzteren characteristischer; öfters erscheint er aber ausgeblasst, wie z. B. im Biotit-Gabbro (54). Feinschuppige Form, wie sie im Hornblendeporphyrit (34), im porphyroiden Aktinolithschiefer (38) u. a. beobachtet wurde, erwies sich vornehmlich für den durch chemische Umbildung entstandenen secundären Biotit als characteristisch. Im typischen Quarzdiorit (15) ist das ausgefranste Aussehen der hier durch dynamometamorphe Processe aus Hornblende hervorgegangenen Biotitfetzen darauf zurückzuführen, dass dieselben in der Form losgebrochener Hornblendefragmente erscheinen.

Ausgelappte Formen waren aber auch da zu beobachten, wo der Biotit ursprünglichen Character besass; wiederholt erscheint der nebenan in selbständigen Krystallen auftretende Kies da, wo er über dem Biotitmineral zur Abscheidung gelangte, wie z. B. im Biotit-Hornblende-Gabbro (50) dessen ausgelappten Formen völlig angepasst, ebenso das Erz in der kersantitähnlichen Ausscheidung (74). Während ausnahmsweise in der kersantitischen Parthie des Schliffes (10) Biotit

Digitized by Google

grösstentheils durch compacte Hornblende vertreten wurde und in ähnlicher Weise in der gröberkörnigen Parthie von (10), sowie im Schliff (10′) Faserhornblende und Chlorit sich in Form und an Stelle des Biotites vorfand und endlich auch in dem quarzreichen Gestein (7) als Seltenheit die Umbildung des Biotites in ein pilitähnliches Mineral und gleichzeitig die allgemeine, auch in anderen Gesteinen sehr häufig auftretende, aber etwas anders verlaufende Veränderung in Epidot und Chlorit neben einander beobachtet wurden, fand in den meisten, insbesondere ursprünglich quarzfreien Plagioklas-Gesteinen, zwischen dem Biotit und der Hornblende in der Regel das umgekehrte Verhältniss statt. Denn, abgesehen von den sehr häufigen, innigen Verwachsungen beider, wie z. B. im Quarzdiorit (21), wo das eine Ende als Biotit, das andere Ende als Hornblende erschien, und ebenso im Quarzdiorit (20) waren vielfach directe Anhaltspunkte geboten für die secundäre Entstehung des Biotites aus der Hornblende. So im Dioritporphyrit (39), in den Andesiten (60), wo bei beginnender Biotitbildung Flecken in der Hornblende auftraten und (61), wo die Biotitbildung die Zerkleinerung der Hornblende einleitet, im Quarzbiotitdiorit (12), in der quarzreichen Ausscheidung im Diorit (14) u. s. w. Wie die secundäre Biotitbildung weitergreift, die Biotitschüppchen vom Entstehungsorte entfernt werden, ist am Diabasporphyrit (32) beschrieben worden.

Dass die Biotitbildung, wenn man von einem Augitgestein ausgeht, ein im allgemeinen auf die Entstehung der Hornblende folgendes Stadium der Fortentwicklung eines und desselben Gesteins darstellen würde und lokale kersantitähnliche Beschaffenheit in einem Gabbro- oder Diabascomplexe auch unter diesem Gesichtspunkte betrachtet werden könnte, darauf wurde bei Besprechung des Gesteins (40) hingewiesen.

Biotit nach Olivin wurde gleichfalls wiederholt z. B. im Olivin-Gabbro (56), im Plagioklasbasalt (65) beobachtet.

### Chlorit.

Der chloritische Bestandtheil wurde in vorliegenden Gesteinen fast nur als Zersetzungsproduct und gewöhnlich mit Epidot zugleich angetroffen, ganz allgemein in genetischen

Digitized by Google

Beziehungen zur Hornblende und zum Biotit und zwar in letzterer Hinsicht bald nach dem Biotit, wie im zersetzten Biotitgranit (7), bald neben demselben gebildet, wie im Quarzhornblendeandesit (60), der Anordnung nach in gewissen Fällen eine ganz ähnliche Rolle spielend, wie secundärer, feinschuppiger Biotit, entweder aus ihm hervorgegangen oder ihn direct vertretend. Delessitähnliche Aggregate wurden seltener beobachtet. Von Chloritbildung aus Hornblende, unter randlicher Abblätterung gab der Diabasporphyrit (36) ein hübsches Beispiel, wo die Hornblendequerschnitte einseitig in Chloritfasern aufgelöst, andererseits scharf und geradlinig umgrenzt und dann von losen Chloritblättchen umflossen erscheinen.

Chloritisirung und Verkieselung stellte sich im allgemeinen als Schlussstadium in der von Verwitterung begleiteten Zersetzung der Bisilicate in den dioritischen und diabasischen Gesteinen dar, daher auch in den öfters erwähnten concretionären, mandelförmigen Gebilden eine Chloritzone neben dem Quarz constant vertreten war; doch scheint es, als ob dieser Endzustand durch besondere Umstände beschleunigt werden könne. In dieser Beziehung ist zu beachten, dass dort, wo neben der Chloritisirung noch andere Umwandlungserscheinungen desselben Gemengtheiles auftraten, erstere durchwegs mit Druckerscheinungen im Zusammenhange stand, indem beispielsweise im Gabbro (51) Chlorit gerade an den gepressten Stellen des Uralites, ferner häufig streifenweise gerade in vielen gepressten und aufgeblätterten Biotiten sich vorfand, oder, wie im Epidiorit (27), neben indirecter Bildung aus dem Augit (durch Veränderung des selbst bereits secundären Uralites) gerade dort, wo der Augit in der Nähe von Erzpartikeln einer Pressung ausgesetzt war, directe Chloritbildung daraus eintrat. Darum ist es denkbar, dass dieselben dynamischen Vorgänge, welche, Lösung und Umkrystallisation anregend und begünstigend, einem in Zersetzung begriffenen oder zertrümmerten Gesteine zunächst zu einem gröber krystallinen Gefüge verhalfen, dasselbe Gestein bei weiterem Andauern, oder lokal, durch Beschleunigung der Chloritbildung und Verkieselung in einen unansehnlicheren Zustand wieder zurückführen können. Bei gewissen Chloritpseudomorphosen, wie

Digitized by Google

in den Diabasporphyriten (46) und (47) blieb die Provenienz unbestimmt, blieb es insbesondere zweifelhaft, ob sie von Olivin oder Augit herrühren. In den gleichzeitig im Schliffe vorhandenen Adern erwies sich der Chlorit meist viel schöner pleochroitisch, spangrün oder blaugrün parallel zur Blätterung, licht grünlichgelb senkrecht dazu (ganz ähnlich den meisten Hornblenden, aber durch die Art der Polarisation stets verschieden). Im saussuritisirten Biotitgabbro (54) wurde der äusserst variable, unbestimmte, von Stelle zu Stelle und zuweilen allmählig wechselnde Character, welchen der grüne Gesteinsgemengtheil hier annimmt, besonders hervorgehoben. Als grüner Aussenrand des Diallages zuweilen deutlich dichroitisch und zwar braungrün und blaugrün, wird er gegen das Innere des Augites hin bräunlich, geht in braunen Biotit über. Nach aussen hin finden sich Blätteraggregate, die sich bald wie ausgeblasster Biotit, bald wie Chlorit, bald wie Chloritoid verhalten. Endlich tritt er auch noch in einer nicht blättrigen Form auf, bald stark gefärbter, bald farbloser Hornblende gleich, selten an Uralit erinnernd — und alle die genannten Gemengtheile gehen hier eigenthümlich orientirte Verwachsungen ein.

Aus dem Biotit-Hornblende-Gabbro (50) wurde ein eigenthümliches, in gewissen Schnitten blauschwarzes, optisch zweiaxiges Mineral von dem Habitus eines Sprödglimmers erwähnt, welches mit einem im Gloggnitzer Forellensteine vorkommenden, demnächst zu beschreibenden Gemengtheile identisch sein dürfte.

Chloritoidbildung wurde in manchen Gesteinen als ein Umwandlungsstadium der Hornblende vermuthet.

Über andere Glimmerminerale ist wenig zu sagen. Kaliglimmer wurde verhältnissmässig selten beobachtet. Bemerkenswerth erscheinen seine Beziehungen zu mechanisch umgeformtem Biotit, sowie die orientirten Verwachsungen respective Einlagerungen zwischen Zwillingslamellen von Plagioklas. In unscheinbarer Form trat er wiederholt als Zersetzungsprodukt des Feldspath auf, in Plagioklasen aber, wie es scheint, meistens durch Pyrophyllit vertreten. Kranzförmig um Epidotkörner oder strahlig um Feldspathe angeordnete Pyro-

Digitized by Google

phyllitblätter wurden z. B. im Gneissgranit (8) beobachtet. In Büschelform betheiligte sich Pyrophyllit fast regelmässig an den erwähnten, quarzreichen, concretionären Gebilden, wie im Augitporphyrit (48).

Chromglimmer wurde nur einmal als färbender Einschluss in einer Magnesitausscheidung des Serpentinterrains (73) beobachtet. Talk blieb vornehmlich auf die Serpentine und Halbserpentine beschränkt.

## Quarz.

Quarz als secundärer Gemengtheil neben primärem Quarz oder mindestens Quarze verschiedener Generation, d. h. aus verschiedenen Epochen der Gesteinsentwickelung, wurden wiederholt mit Sicherheit nachgewiesen, noch öfter vermuthet. Wie wenig sich in manchen Fällen z. B. primärer und secundärer Quarz unterscheiden, wurde hervorgehoben, ebenso wie, dass undulöse Auslöschung hauptsächlich dem primären eigenthümlich ist und auch auf die häufige Orthoklasähnlichkeit durch zufälligen parallelen Verlauf von geradlinigen Sprüngen in einzelnen Quarzkörnern wurde hingewiesen. Im Quarze des Diallag-Kersantites (41) wurden neben Zirkonmikrolithen auch Kryställchen von Topascombination beschrieben. Quarz als Cement wurde in den meisten der hier beschriebenen Tuffe und Sandsteine, in einigen, wie im Orthoklassandstein (77) allerdings in verschwindender Menge angetroffen. Im Grünschiefer (80) u. a. betheiligte Quarz sich nach Möglichkeit selbst an der Darstellung der Parallelstructur. Quarzepidotgemenge wurden sehr häufig in Nestern vorgefunden — und reichliche Quarz- und Epidotentwickelung bezeichnete stets ein vorgeschrittenes Stadium der Zersetzung und Umbildung des betreffenden Gesteins. In Chloritadern, wie im Quarzporphyrit (58) erschienen die senkrecht zur Seitenwand der Adern gestellten Chloritfasern stellenweise durch parallel gelagerten Quarz und Epidot vertreten.

Chalcedon an Stelle von Feldspath wurde z. B. im zersetzten Dioritporphyrit (37) und in anderen Gesteinen beobachtet.

Digitized by Google

## Olivin.

Die häufige Olivinform der concretionären Chlorit-, Quarz-, Pyrophyllit- und Pilit-Anhäufungen, wie z. B. im Diabasporphyrit (48) wurde bereits früher erwähnt; theilweise frischer, besser erhaltener Olivin wurde in den in Rede stehenden Gesteinen fast nur in unregelmässiger Körnerform angetroffen. Die an Feldspath anstossenden Parthien waren mitunter von pilitischen Faseraggregaten (gemengt mit Spinell?) kranzförmig umgeben. Zugleich waren Anzeichen vorhanden, dass der Olivin zur Zeit der Feldspathbildung eine theilweise Einschmelzung erlitten habe, wobei losgetrennte Stücke und Olivinglas vom Feldspathe eingeschlossen wurden. Die Ausbildung der zuvor erwähnten Kränze ist aber in eine ganz andere (wohl spätere) Epoche der Gesteinsentwickelung zu versetzen. Grössere Aufmerksamkeit wurde einigen der am Olivin ausnahmslos bemerkbaren Zersetzungserscheinungen zugewendet.

Von den zweifelhaften chloritischen Olivinpseudomorphosen (z. B.) im Hornblendeporphyrit (35) und Augitandesit (64) abgesehen, sind unter den Zersetzungsprodukten neben Serpentin, Biotit, Pilit und Talk besonders noch Magnesit zu nennen, theils als Körnerstaub direkt an Stelle des Olivins abgelagert, theils, wie im Serpentin (68), (70) u. a. in Chrysotiladern die Fasern des letzteren stellenweise ersetzend.

Wie sich die Vorgänge an der Grenze zwischen Olivin und Augit gestalten, im Falle beide in Zersetzung begriffen sind, davon gibt z. B. der Serpentin (66) ein lehrreiches Bild, wo einseitig an die scharfe Augitgrenze angesetzte, neugebildete Tremolitnadeln in den halbzersetzten Olivin hineinwachsen.

Eine besondere Art einseitiger Veränderung und zugleich wieder ein Beispiel davon, wie verschieden die Zersetzung desselben Gemengtheiles an verschiedenen Stellen desselben Gesteines vor sich gehen kann und wie diese Verschiedenheiten eventuell im selben Schliffe neben einander zur Beobachtung gelangen, bietet sich im Olivin-Gabbro (56) dar, wo mitten im Augit eingeschlossener Olivin an der einen Seite frisch, an der andern von Erz erfüllt, in der Mitte serpentinös zersetzt erscheint, während daneben, mitten zwischen Plagioklas, einseitig ein frischer Rest von Olivin neben

Digitized by Google

Biotit vorliegt, andererseits Talk entwickelt ist, an noch anderen Stellen, ausserhalb des Augites, Magnesitkörnchen sich den Zersetzungsprodukten beimengen.

Die Serpentine waren fast alle aus Gabbros, jedenfalls aber immer aus Augit- und Olivin-Gesteinen abzuleiten.

Bastit blaugrau für Schwingungen // c, gelbgrün für solche parallel zu b wurde im Gabbro (48) auf optischem Wege im convergenten und parallelen polarisirten Lichte constatirt.

### Carbonate.

Trotzdem im allgemeinen viele stark verwitterte Gesteine zur Untersuchung gelangten, so waren doch, ausgenommen in den Serpentinen, verhältnissmässig wenig Carbonate unter den Zersetzungsproducten zu beobachten. Insbesondere reiner Calcit wurde wenig bemerkt, und zwar, nach verschiedenen Gemengtheilen zugleich als Umwandlungsproduct auftretend, wie z. B. im Biotitandesit (62), wo er mit Zeolith als Umwandlungsproduct von Feldspath (orientirt darin abgelagert), mit Chalcedon hingegen an Stelle der Hornblende zu finden war; im Falle er an Ort und Stelle gebildet und nicht zugeführt erscheint, stets ein Anzeichen gründlicher Umwandlung, vollständiger Spaltung darstellend — so in der Turmalinausscheidung (12) und verschiedenen Grünschiefern.

Im quarzreichen Sandstein mit Plagioklas und Orthoklas (77) fanden sich zersetzte Ankeritreste und vollständige okrige Pseudomorphosen nach diesem Carbonate, welche beim ersten Anblick zum Theile zu verwechseln waren mit (im gebrochenen Lichte dunkleren), im auffallenden Lichte gelblichweissen bis gelblichrothen Klümpchen, aus denen feinste Sagenitnadeln hervorschauen.

In den Serpentinen erwies sich das Carbonat bald als reines, bald als Fe- und Ca-haltiges Magnesiacarbonat, was in einzelnen Fällen auf rein chemischem Wege, in anderen auch aus dem Gange der Zersetzungserscheinungen erschlossen wurde. Eine feinkörnige, krystallinische Magnesitausscheidung, zwischen welcher nur wenig Quarz und, den Magnesit grünlich färbender, Chromglimmer als Einschluss zu beobachten war, wurde von (73) beschrieben. Bei dieser Gelegenheit wurde darauf hingewiesen, wie die Reliefänderung



Digitized by Google

der rhomboëdrischen Carbonate beim Drehen des Objecttisches, welche beim Magnesit und namentlich unter Anwendung des unteren Nicols besonders auffallend hervortritt, als Erkennungszeichen sich nützlich macht, wenn die Form unscheinbar wird und im Stiche lässt. Auf solche Weise war Magnesit in fast allen den vorliegenden Serpentinen mindestens in kleinen Körnchen, als Staub, zu erkennen und zu erweisen.

Bisweilen, wie im Serpentin (70) heben sich die weisslichen Magnesitkörner porphyrisch von der Serpentinmasse ab, u. d. M. bei gewisser Stellung dunkel conturirt, mit rauher Oberfläche und schwach bräunlichgelb, senkrecht dazu feiner umrandet, glatt und fast farblos erscheinend, oder es durchziehen Magnesitschnüre den Serpentin wie in (72). Fe-haltiger Magnesit in Staubform betheiligt sich auch an den Fäden des Maschennetzes im Serpentin (71), unvollkommene Krystallkörner, gerundete Rhomboëder nach beiden Seiten hin ansetzend. Hier findet sich Magnesit auch stellvertretend in Chrysotiladern besonders dort eingeschoben, wo diese Adern mit Erzschnüren sich kreuzen.

Selbst wieder theilweise angenagt und durch Talkschüppchen ersetzt, findet sich der Magnesit in (72).

Hier wurden auch Korundkörnchen angetroffen.

## Epidot und Zoisit.

Grössere Epidotkörner oder Epidotkrystalle waren fast immer als das Product einer Umkrystallisation erweislich, die Herausbildung aus dichtem Zoisitstaub insbesondere zuweilen im Schliffe stufenweise zu verfolgen. Wo typischer Zoisit und typischer Epidot neben einander vorkommen, war der erstere im Feldspathe, der letztere hauptsächlich an Stelle der Hornblende anzutreffen. Bisweilen wurden nach Form und optischem Verhalten förmliche Zwischenstadien zwischen beiden Mineralen (wohl makroskopisch ungewöhnliche Mischungen) bemerkt. Mechanische Phänomene, auch am Epidot häufig sichtbar, bekundeten am besten die lange Fortdauer der dynamometamorphen Vorgänge. Gleich einem Walle fand sich Epidotstaub an dem Contacte zwischen dem dichten und gröberkörnigen Tuffgesteine (64) zusammengeschoben und angehäuft.

Digitized by Google

Erze sowie Spinelle spielen in den vorliegenden Gesteinen keine besondere Rolle und boten auch nichts Bemerkenswerthes dar. Dass Titaneisenreste mit Leukoxen wiederholt den ursprünglichen Diabas verriethen, wo er sonst fast gänzlich unkenntlich geworden, dass die Nähe dieses Erzes auf gewisse Umwandlungsvorgänge modificirend einwirken könne, namentlich wenn gleichzeitig Leukoxenabscheidung dadurch eingeleitet wird, dass Titanit auch sonst (selbständig) hie und da ziemlich auffallend hervortrat, wurde gleichfalls erwähnt. Ebenso das Anschmiegen der Kiesminerale an die Form von Glimmermineralen, über denen sie zum Absatze gelangten. Von ihnen war nur der Schwefelkies hie und da, wie z. B. im Halbopal (57) und in der Turmalinausscheidung (13) reichlicher vorhanden. Wiederholt gelangten runde, braune Erzkügelchen, besonders in der Nähe des Biotites, im Quarzdiorit (10), Gneissgranit (7), Tuffsandstein (76) u. s. w. zur Beobachtung. Dieselben erinnerten mitunter, wie z. B. in gewissen Serpentinen, ganz auffallend an gewisse Partikel des Meteorstaubes von Klagenfurt, welchen ich kürzlich zu untersuchen Gelegenheit hatte, erschienen im auffallenden Lichte röthlichbraun, im gebrochenen Lichte schwarzbraun und ihre theils runden, theils ausgebrochenen Conturen durch Serpentinsubstanz mitunter vervollständigt und ergänzt; sie haben hier, wenigstens allem Anscheine nach, Erzeinschlüsse im ursprünglichen Olivin dargestellt.

Durch vereinzelte Turmalineinschlüsse im Epidot des Quarzbiotitdiorites (12) bereits angekündigt, liegt von dem gleichen Fundorte (13) eine, stellenweise völlig dichte, schwarze, wirrstrahlige Anhäufung feinster Turmalinnädelchen vor, in deren Gesellschaft nebst viel Pyrit noch viel Quarz und wenig Calcit, Hornblende und Epidot sich vorfinden. Dieser Turmalin erscheint in trigonalen Querschnitten schwarz mit bläulich violettem Stich, in hemimorphen Längsschnitten // c schön hyacinthroth bis schwarzbraun, senkrecht dazu dunkel rothbraun bis schwarz gefärbt; auf Quarzgrund liegend, liefern die winzigsten Nädelchen mit diesem zusammen bei Anwendung nur eines Nicols die herrlichsten Farben.

Über den Zirkon endlich, der ziemlich häufig, aber nur



Digitized by Google

in winzigsten Krystallen angetroffen wurde, sowie über den Rutil, welcher unter anderm als Sagenit auch innerhalb secundären Quarzes des Serpentinterrains wiederholt beobachtet wurde, ist hier nichts Besonderes zu sagen. Anatas wurde nicht in typischer Ausbildung angetroffen.

Apatit wurde ziemlich häufig und zwar durchwegs in der bekannten Ausbildung vorgefunden.

### III b. Betrachtungen, welche sich auf die Bildung und Umbildung der untersuchten Gesteine beziehen.

Der folgende Abschnitt bringt jene Bemerkungen allgemeiner und besonderer Art über die Structurverhältnisse und Ausbildungsweise der untersuchten Gesteine, über beobachtete Druckphänomene, Wechselbeziehungen der Gemengtheile und Umwandlungsvorgänge innerhalb dieser Gesteine, welche durch das mikroskopische Studium ihrer Dünnschliffe angeregt wurden, — im Zusammenhang mit den hinsichtlich der Entstehungsweise und Entwicklungsgeschichte derselben Gesteinsvorkommen daran geknüpften Schlussfolgerungen.

Aus der gleich anfangs gelieferten Übersicht geht hervor, dass die meisten der auf mikroskopischem Wege constatirten Gesteinstypen der Familie der Granite, körnigen und porphyrischen Gliedern der Familien der Diorite und Diabase (resp. Gabbro) und deren Tuffen angehören, während sonst noch hauptsächlich Serpentine und Andesite durch Schliffe vertreten waren. Bezüglich der den einzelnen Vorkommnissen gegebenen petrographischen Bezeichnung ist zu bemerken, dass überall, wo im Felde gemachte Notizen Reyer's zu Gebote standen, dieselben dabei möglichst berücksichtigt wurden. Gleichwohl ergaben sich begreiflicherweise mitunter Schwierigkeiten. Dieselben wurden weniger hervorgerufen durch den Umstand, dass viele der zur Untersuchung gelangten Schliffe von Gesteinen herrührten, die sich bereits in einem hohen Grade der Zersetzung befinden, welcher Umstand die Erkennung der Gemengtheile und insofern die richtige Definition der Gesteine selbst etwas erschwerte, hingegen zu einem detaillirteren Studium gewisser Umwandlungsvorgänge willkommen Anlass bot. Bei manchen der Gesteine blieb vielmehr trotz ziemlicher Frische der Gemengtheile, die

Digitized by Google

Bezeichnung deshalb etwas unsicher, weil dieselben in Wahrheit keinen eigentlichen Typus zu repräsentiren scheinen.

Beispiele liefern die von (15), (8) und (6′) beschriebenen Proben, welche durch Plagioklasreichthum einerseits und Vorhandensein von Quarz andererseits Zwischenglieder zwischen plagioklasreichem Hornblendegranit und Quarzdiorit darstellen, ebenso das Gestein (42), welches ein Übergangsglied zwischen Syenit und Diorit repräsentirt, während typischer Syenit unter den Schliffen nicht vertreten war. In einigen Fällen ist dann der Quarz allerdings ganz oder zum Theile secundärer Natur (sicher z. B. in (17), wo er Hornblendebruchstücke und Hornblende-Reste zur ursprünglichen Form ergänzt), wiewohl seine secundäre Natur in den wenigsten Fällen direct nachweisbar ist. Einzelne dieser Zwischenglieder, welche man im Ganzen wohl als mehr lokale Mineralausscheidungen[1] anzusehen hat, dürften daher ihren intermediären Character speciell dynamometamorphen Vorgängen verdanken.

Anders verhält es sich mit jenen Gesteinen, die sich bei näherer Betrachtung zweifellos als abgeleitete zu erkennen gaben. Dies betrifft vor allem fast sämmtliche zur Untersuchung gelangten Gesteine von dioritischer Zusammensetzung, von denen viele auf Glieder der Diabasfamilie zurückführbar waren, so dass auch in diesem Theile Amerikas „Gabbro-Diorite“ im Sinne von Williams[2] resp. Epidiorite anderer Forscher stark vertreten siud. Es erscheint überhaupt bemerkenswerth, dass sich die Zahl anerkannter, echter, ursprünglicher Diorite desto mehr verringert, je weiter die Forschungen auf diesem Gebiete der Petrographie vorschreiten, und dass man heute vielleicht schon sagen kann, dass quarzfreier Diorit wenigstens seinem Umfange nach keineswegs einen dem Diabase gleichwerthigen Typus darstellt. Dafür, dass der ursprüngliche Augit bis auf höchst unscheinbare Reste, ja selbst spurlos verschwinden kann, was für die Beurtheilung der hierher gehörigen Gesteine von grosser Wichtigkeit

[1] schlierige Bildungen.

[2] The Gabbros and associated Hornblende rocks occurring in the neighbourhood of Baltimore, M. D. By George H. Williams. (Bull. of the United States Geological Survey No. 28, Washington 1886; dies. Jahrb. 1887, I, -288-.)

Digitized by Google

ist, wurden zahlreiche Belege angeführt. (26), wo sich wenige Augitspuren finden, ebenso (44) geben Beispiele davon.

Während aber im einen Fall der schlechte Erhaltungszustand, in welchem das betreffende Gestein überhaupt sich befindet, die Erkennung dieser Reste erschwert oder verhindert, ist es in manchen Fällen der hohe Grad, bis zu welchem speciell die Augitumwandlung bereits vorgeschritten ist, welche Schwierigkeiten bereitet. (35) repräsentirt ein solches gänzlich verändertes Gestein, worin Augitreste im gewöhnlichen Lichte gar nicht, im polarisirten nur mit äusserster Aufmerksamkeit direct wahrnehmbar sind, wiewohl bereits anderweitige Beobachtungen mehr indirect darauf hinweisen, indem sie zunächst auf die Vermuthung secundären Characters des darin enthaltenen Aktinolithes führten. In (12) fand sich in einem einzigen Hornblende-Durchschnitte ein Augitkern, während sonst keine Spur von Augit zu entdecken war. Bei manchen derartigen Gesteinen, wie z. B. (24) war nur noch in gewissen Structurverhältnissen (Leistenform der Feldspathe bei Körnerform der Hornblende), ferner in Leukoxenresten nach Titaneisen eine leise Hindeutung auf diesen Ursprung zu erblicken.

In (43) wurde der Uralitisirungsprocess zum Gegenstand näheren Studiums gemacht und wurden die verschiedenen Phasen desselben, die sich im Schliffe neben einander vorfinden (Bronzit-ähnliche Bräunung der Augite nach innen, Übergang in blaugrüne Hornblende nach aussen) unterschieden und hervorgehoben. Auch in (51) beispielsweise wurde bezüglich des Augitbestandtheiles Uralitbildung constatirt und wurden die Variationen erörtert, welche sich dabei ergaben. In (27) endlich wurden Umstände hervorgehoben, welche die Chloritisirung, die im gewöhnlichen Gange der Veränderung bekanntlich als ein auf die Uralitbildung folgendes Stadium, als erste Veränderung der selbst bereits secundären Hornblende einzutreten pflegt, beschleunigen können; es wurde beispielsweise darauf hingewiesen, dass Chlorit unter dem Einflusse starker Pressung, bei Gegenwart von Titaneisen auch direct aus dem Augite entstehen kann, wobei gleichzeitig Leukoxenabscheidung aus dem Titaneisen stattfindet.

Eine wiederholte Änderung der mineralogischen Zu-

Digitized by Google

sammensetzung mithin ein mehrfacher Wechsel des Gesteinstypus, wie er von vorneherein nicht undenkbar ist, scheint durch (40) repräsentirt zu werden, dessen jetziges Aussehen weder die ursprüngliche Form noch Zusammensetzung wiedergibt. Dasselbe wurde zunächst von einem Kersantit abgeleitet. Die Kersantitzusammensetzung scheint aber in diesem Falle einem über die Herausbildung eines Hornblendegesteins hinausgehenden Entwicklungs- und Umbildungsstadium eines ursprünglichen Diabas-Gesteines zu entstammen.

Serpentin (68) sowie die meisten der hier untersuchten Serpentine sind von Gabbros und verwandten Gesteinen abzuleiten und war es namentlich lokaler und plötzlicher Structurwechsel des Serpentins, welcher das ursprüngliche Augit-Olivingestein verrieth, auch wenn Diallagreste selbst bereits gänzlich fehlten, zugleich ein Beispiel für den Fall liefernd, wo trotz gänzlicher Änderung der mineralogischen Beschaffenheit die ehemalige Structur des Gesteins sich noch theilweise erhielt.

Gestein (39) verbindet einen gewissen sandsteinähnlichen Character mit der Zusammensetzung eines Glimmerdiorites. Gänzliche Änderung der Structur sowohl als der Zusammensetzung illustriren z. B. (29) und (30), welche den Eindruck eines im Entstehen begriffenen Grünschiefers hervorrufen, bei welchem für die Ableitung aus einem diabasähnlichen Gesteine nur noch Andeutungen und keine bestimmten Anhaltspunkte mehr geboten sind.

In (58) bemerkt man an verschiedenen, sich in einer Art Grundmasse verlierenden grösseren Gemengtheilen Anzeichen mechanischer Kräftewirkung, am ganzen Gestein sonach Spuren innerer Zertrümmerung, welche zur Herstellung jener Grundmasse führten und zugleich eine Art gleichsam secundärer granophyrischer Structur veranlassten, wie sie auch in andern Fällen z. B. (63) vermuthlich herbeigeführt wurde. Bei der im letzten Beispiele in den Vordergrund gestellten Structuränderung hat mechanische Umformung, wie angedeutet, eine wesentliche Rolle gespielt.

Solchen mechanischen Vorgängen, Verdrückungen und Verbiegungen der Gemengtheile u. s. w. wurde überhaupt in den untersuchten Gesteinen möglichste Aufmerksamkeit zuge-

Digitized by Google

wendet. Dabei ergab sich, dass, wie z. B. in (34), bei klastischem Character nach dem mikroskopischen Befunde allein nicht immer zu entscheiden war, ob blos innere Zertrümmerung dazu Anlass bot, oder auch Sedimentirung dabei mitgewirkt habe. Dieser Umstand erschwerte auch die Erkennung der Tuffgesteine. Speciell (in 64) musste es z. B. aus ähnlichem Grunde zweifelhaft bleiben, ob Contact von gröberem mit feinerem Tuffsandstein (wie in 79) oder ob Contact von Tuff mit Augitandesit selbst vorliegt: Thatsächlich fanden sich im dichten und im gröber körnigen Theile dieselben Elemente aber freilich in ungleicher Vertheilung und im ersteren Falle in bedeutend zerkleinertem Zustande, so dass sich dieser Theil als feinstes Zerreibsel des gröberen Gesteines darstellte.

Treppenförmig verworfene Bruchstücke, wie in (60), wurden vielfach beobachtet. (56) bot Gelegenheit, das Verhalten bereits vorhandener Zwillingslamellen im Feldspath gegenüber den in dieselben eintretenden Sprüngen zu beobachten.

In (19) steht der klastische Character gleichfalls in Zusammenhang mit Druckerscheinungen, gleichzeitig aber auch mit Zersetzungserscheinungen an den Gemengtheilen; es sieht hier so aus, als wäre die an ihren Enden öfters ausgefaserte und dabei umgebogene Hornblende einer theilweisen Auflösung und Erweichung unter gleichzeitiger Pressung ausgesetzt gewesen.

Dass gerade die secundären Gemengtheile in umgewandelten Gesteinen durch ihre Ausbildungsweise, Aggregation und Vertheilung bei etwaiger Structuränderung ganz hauptsächlich betheiligt sind, darauf konnte mehrfach hingewiesen werden; (62) verdankt eine Art granophyrischer Structur dem Umstande, dass sich büschlige Aggregation von Feldspathleisten mit sphärolithischer Anordnung secundärer Chalcedon- und Zeolithsubstanz verbinden. Wie die Ausbildungsweise und Anordnung der secundären Gemengtheile umgekehrt von den sie umgebenden, äusseren Umständen beeinflusst werden, davon gibt die Combinationsentwicklung und Lagerung der eigenthümlich langgestreckten Hornblende in (38) ein schönes Beispiel. Die Hornblendesäulen liegen, mit ihrer längsten Dimension der secundär entstandenen Parallelstructur folgend nahezu genau in der Fläche der Schieferung, der stumpfe

Digitized by Google

CALIFORNIA

Winkel des Hornblende-Prismas ist der Schieferungsfläche zugekehrt, die Tendenz, nach dieser Seite hin möglichst zu verflächen findet noch dadurch ihren Ausdruck, dass an den grössten Individuen die bei der Hornblende ziemlich selten entwickelte Querfläche dort auftritt, die sonst häufigere Längsfläche seitlich (d. i. senkrecht zur Schieferung) hier fehlt. In diesem Gestein ergeben sich zugleich eigenthümliche Beziehungen zwischen makroskopisch porphyrischer, mikroskopisch lagenweiser Structur. In (53) sind die Zersetzungsproducte, wie häufig, theils alten Structurrichtungen der früheren Gemengtheile, theils neu entstandenen Sprüngen parallel abgelagert. Auch in (33) sind die z. Th. Migrationsstructur hervorrufenden länger gestreckten Gemengtheile vorzüglich einer Richtung parallel gestellt.

Ähnliche Beziehungen zwischen primären und secundären Gemengtheilen, wie vorhin erwähnt, sowie das Zusammenvorkommen verschiedener Structuren liegen auch im Grünschiefer (80) vor. Hier wurde die nesterförmige Anhäufung gewisser Elemente, der porphyrische Character der als ursprünglich zu betrachtenden Gemengtheile, die durch die Anordnungsweise der Neubildungen erzeugte Parallelstructur, bei gleichzeitiger Entwicklung eines Maschennetzes und einer ganz allgemein sich kund gebenden Migrationsstructur hervorgehoben. Es wurde insbesondere darauf hingewiesen, wie die beiden ersten sich verbinden, indem innerhalb der maschenförmig sich durchkreuzenden Chloritadern und Epidotschnüre, unbekümmert um den Verlauf, den sie nehmen, im Grossen und Ganzen Parallelstellung der Epidotsäulchen und der in gleicher Weise nach einer Richtung vorherrschend entwickelten (langgestreckten) Chloritblättchen und Quarzkeile wahrzunehmen ist, ganz ebenso wie in der dazwischen und daneben liegenden, gleichförmig ausgebildeten Grundmasse. Das gleichfalls daselbst beschriebene Verhalten der secundären Gemengtheile zu den porphyrischen, welches umgekehrt wieder den Beweis liefert, dass die letzteren auf die Anlagerung der secundären Produkte auch dann nicht ganz ohne orientirendeu Einfluss bleiben, wenn diese Anordnungsweise, wie hier, zum grössten Theile durch äussere Umstände beherrscht wird, gibt weitere Fingerzeige für spätere Phasen der Gesteinsentwicklung.

Digitized by Google

Orientirte Einlagerungen von Zersetzungsproducten in primären Mineralen (z. B. Epidot eingedrungen längs den Prismenflächen von Feldspath) oder derartige Verwachsungen zwischen secundären Mineralen und ihren Muttermineralen (wie besonders Chlorit und Biotit) und endlich zwischen den Neubildungen unter einander z. B. gelegentlich von Umkrystallisationen, wie sie den Epidot besonders häufig betreffen, wurden wiederholt constatirt. In (6) tritt der in sehr geringer Menge vorhandene Kaliglimmer immer in Verbindung mit dem mechanisch umgeformten Biotit, womit sich noch Epidot und Titanit in characteristischer Weise aggregirten. Ähnlich ist das eigenthümliche Auftreten des Kieses in (74) und anderen Gesteinen, welcher, im Falle er auf dem Biotitminerale zur Abscheidung gelangte, den Umrissen der Unterlage auffallend angeschmiegt erscheint, dieselbe in gewissem Sinne abformt und so mindestens indirecte genetische Beziehungen zwischen beiden vermuthen lässt.

Während manche der secundären Gemengtheile auf dynamometamorphe Vorgänge als ihre nächste Entstehungsursache deutlich verweisen, wie der aus Hornblende hervorgegangene Biotit in (5), wo dessen gefranstes Aussehen, z. Th. wenigstens, sicher auf diesen Umstand zurückführbar ist, oder wie im Gestein (66), wo Tremolit und Talk als Neubildungen erscheinen und des letzteren Auftreten sich mit daselbst beobachteten mechanischen, Bewegungs- und Druckerscheinungen in directen Zusammenhang bringen lässt, characterisiren sich andere Vorgänge als lediglich den energischen Verlauf chemischer Processe begleitende Bewegungserscheinungen. So fanden sich in manchen Serpentinen ausser der durch die Vertheilung des Picotites angedeuteten Fluctuation mehrfach Anzeichen, dass grössere Augit- und Olivinindividuen in Körner aufgelöst und diese in einer beweglichen fliessenden Masse durcheinander geschoben wurden.

Eine Vorstellung sich zu bilden, wie Verwitterungserscheinungen, dynamometamorphe Vorgänge und chemische, mit der Weiterentwicklung der Gesteine verbundene Processe zusammengreifen und bald der eine bald der andere überwiegen können, dazu bot die Betrachtung und der Vergleich der Gesteine (60) und (61) Gelegenheit. In (60) ist die Horn-

Digitized by Google

blende vorwiegend mechanisch zerkleinert worden, womit chemische Veränderung allerdings Hand in Hand ging, sei es dadurch hervorgerufen und eingeleitet, sei es dadurch begünstigt. Der genannte Gemengtheil erscheint randlich zernagt, in immer kleinere Körner aufgelöst, die anfänglich in der Nähe des Ausgangspunktes gehäuft sich vorfinden, später (durch Quarz) immer weiter weggedrängt und gleichmässig in der Grundmasse vertheilt werden. In (61) hat gleichfalls Verkleinerung porphyrischer Hornblendekrystalle stattgefunden; dieselbe hat aber hier im Vergleiche mit der vorigen mehr den Character eines chemischen als eines mechanischen Vorganges, indem insbesondere die Lostrennung der Theile meist erst nach erfolgter chemischer Veränderung sich vollzogen haben dürfte. Im letzteren Falle hat man es aus mehr als einem Grunde wohl eher mit einem bestimmten Entwicklungsstadium des in fortlaufender Umbildung begriffenen Gesteines und zwar mit jener Periode zu thun, welche mit der Ausbildung der gegenwärtigen Grundmasse zusammenhing, nicht aber (wie oben) mit einer späteren Umwandlung des fertigen Gesteines. Auf ähnliche Vorgänge deuten die Anzeichen theilweiser Olivineinschmelzung in (55) hin.

Die Umstände, unter denen entschieden secundäre Gemengtheile selbst wieder Zerreissungen und Zerbrechungen, kurz Spuren von Druck und Pressung an sich tragen (wie in (54) oder in (38)) oder selbst wieder theilweiser Auflösung anheimfielen, wie der Magnesit in (72) und den verwandten Gesteinen, wo er öfters wieder ausgenagt und durch Talkschüppchen ergänzt erscheint, gewähren Anhaltspunkte für die Dauer und den Verlauf jener Kräftewirkungen.

Zum Schlusse sei noch einiger Unregelmässigkeiten und Besonderheiten im Verlaufe der oben durchgesprochenen Umwandlungsprocesse gedacht. Zunächst des Überganges von gewissen Pseudomorphosen in die Form concretionärer Bildungen in (48) und einer Reihe anderer Gesteine. An diesen betheiligten sich fast regelmässig die nachstehenden Gemengtheile in der angeführten Anordnung und Aufeinanderfolge, nämlich: eine Chloritzone, darüber farblose Pyrophyllitbüschel, verzahnter Quarz und dazwischen Pilitnadeln. Manchmal hatten diese Anhäufungen typische Mandelform, manchmal genau

Digitized by Google

die Form von Augit- oder Olivinpseudomorphosen. Dieselben erwiesen sich für die Gesteine aus der Reihe der Diorite und Diabase im vorliegenden Terrain fast ebenso characteristisch. wie — als letztes Stadium der darin stattgefundenen Veränderungen — im allgemeinen Verkieselung und Chloritbildung.

In manchen Gesteinen (z. B. 26) wurden localisirte Veränderungserscheinungen in Form von eigenthümlichen Zersetzungsflecken constatirt. Dieselben stehen hier mit reichlichen Pyritanhäufungen im Zusammenhang, worin man vielleicht einen Hinweis auf Fumarolenthätigkeit als die Ursache der Erscheinung erblicken könnte. In ihrem Bereiche erscheinen die im Übrigen braunen Hornblendeindividuen zur Hälfte ausgeblasst und haben ihren Pleochroismus gänzlich verloren. An anderen Stellen scheint dieselbe Ursache dann ein chloritoides Zwischenstadium vor die chloritische Zersetzung und Zerfaserung eingeschoben zu haben.

Auch in (17) ist eine verschiedenartige Veränderung der Hornblende, einmal Ausblassung (worauf sie sich wie Tremolit verhält), das andere Mal Umwandlung in Chlorit (und als Zwischenstadium in einen Sprödglimmer?) im selben Schliffe zu bemerken. Zweifache Veränderung desselben Gemengtheiles in einem und demselben Schliffe wurde auch in (7) beobachtet, wo das Biotitmineral einmal in pilitähnliche Hornblendefasern, das andere Mal in Epidot und Chlorit verwandelt erscheint, wobei aber auch der Verlauf des Processes sich verschieden gestaltete, indem er im einen Falle die ganze Masse nahezu gleichzeitig ergriff, im andern den Biotit local heftig zerstörte, während daneben befindliche Stellen eventuell völlig frisches Aussehen behielten. Ähnlich verhält es sich mit dem Feldspathe in (54), wo bei localer stürmischer Auflösung, wie es scheint, die Umrisse gänzlich verloren gingen, dagegen frische Zwischensubstanz verblieb, bei langsamer Einwirkung der Agentien die äussere Form sich erhielt, das Innere gänzlich zerstört wurde — und ebenso mit dem Feldspathbestandtheile in (51), bezüglich dessen eine zweifache Phase der Umwandlung als wahrscheinlich erkannt wurde — Umbildung in Saussurit (an Ort und Stelle) und sodann nach theilweiser, gänzlicher Zerstörung des Saussurites Neubildung von zweierlei, völlig frisch erscheinenden Feldspathen und zwar Albit und

Digitized by Google

Mikroperthit (resp. Mikroklin)?, welche den aus Zoisit des Saussurites umkrystallisirten Epidot in sich aufnahmen.

Wenn in den letzteren Fällen vorauszusetzen ist, dass man es mit verschiedenen, zeitlich auf einander folgenden Phasen der Umwandlung, mithin mit den Wirkungen verschiedener Agentien zu thun hat, so konnte doch schon früher darauf hingewiesen werden und bietet auch Gestein (45) u. a. Anlass zur Bemerkung, dass der Veränderungsgang einzelner Gemengtheile auch unter dem Einflusse derselben Agentien je nach der Nachbarschaft, in welcher er vor sich geht, variiren kann. In dieser Beziehung sei noch auf die verschiedenartige Veränderung des Olivins in Gestein (56) je nachdem er im Augit, oder zwischen Plagioklas gelegen — hingewiesen.

Sowie endlich in vielen der zur Untersuchung gelangten Gesteine eine consequente (nicht mit eigentlichen Verwitterungsvorgängen zusammenfallende) Fortentwicklung bemerkt wurde, so wurde umgekehrt bei einigen andern durch den Totaleindruck der Gedanke an eine theilweise Recurrenz der Entwicklung hervorgerufen, welche in (46) z. B. speciell einen Stillstand oder localen Rückgang in der bereits begonnenen Augitumwandlung bedeuten würde. Eine derartige Recurrenz würde sich vielleicht auch mit der von Reyer l. c. aus tektonischen Gründen gefolgerten Annahme des wiederholten Aufquellens frischer Eruptivmassen, resp. mit der Annahme intrusiver Nachschübe der letzteren in dem noch plastischen Kerne des darüber liegenden (hier vorzugsweise diabasischen) Massengesteins in Verbindung bringen lassen und dieselbe würde in den dabei geschaffenen geänderten Verhältnissen (insbesondere Temperaturänderungen und Änderungen in der Basicität) ihre Erklärung finden können.

Die in den zuletzt angeführten Thatsachen enthaltenen allgemeinen Wahrheiten lassen sich folgendermassen ausdrücken. Dynamische und chemische Agentien sind bei jeder Gesteinsumwandlung immer gleichzeitig thätig; — mechanische und Lösungswirkungen finden daher fast immer neben einander statt; — die durch das Überwiegen des einen oder anderen Vorganges erzeugte Resultirende der Gesammtwirkung ertheilt erst der Umwandlung den Character, entweder eines mechanischen oder eines chemischen Phänomens. Die Wirkungen

Digitized by Google

derselben Agentien auf einen und denselben Gesteinsgemengtheil sind, da die Gesteine eben keine homogenen Körper darstellen, an verschiedenen Punkten desselben Gesteins, je nach der speciellen Nachbarschaft des betreffenden Gemengtheiles verschieden, — und dieses Verhalten gilt im Grossen, wie in den kleinsten Details. Weitere Modificationen können noch dadurch herbeigeführt werden, dass die, eine bestimmte Epoche der Gesteinsentwicklung begleitenden Umstände periodisch wiederkehren, dann aber das Gestein in einem von dem früheren verschiedenen Erhaltungszustande antreffen. Als Folge der letzten beiden Umstände wird es verständlich, wie so ein bestimmter Gesteinsgemengtheil in einem und demselben Schliffe zugleich völlig frisch und völlig zersetzt erscheinen kann.

Wien, Mineralog.-petrogr. Institut d. Universität, Januar 1887.

Digitized by Google

## Erklärung der Tafeln.

(Die meisten Figuren sind bei 50—80facher Vergrösserung gezeichnet.)

### Tafel XVII.

Fig. 1. (Aus Biotitgranit 6.) Eigenthümliche Aggregation von Biotit (b), Chlorit (c), Kaliglimmer (g) und Titanit (ti).

Fig. 2. (Kersantitähnliches Gestein 10.) Fig. 2a. Faserhornblende (f) nach Biotit (b). Fig. 2b. Compacte, flache Hornblende (h) hie und da an Stelle des Biotites (b).

Fig. 3. (Quarzdiorit 15.) Polysynthetischer Hornblendezwilling (h) gepresst und in der Mitte gebrochen; hier, an den am stärksten gepressten Stellen, in Biotit (b) umgewandelt; ausgefranste Ränder der losgebrochenen Stücke, besonders der in Biotit verwandelten Theile.

Fig. 4. (Quarzdiorit 17.) Fig. 4a. Einfacher Hornblendezwilling nach (100) im Längsschnitte. Obere Hälfte h und h' gänzlich ausgeblasst (fast farblos), wie Tremolit polarisirend, mit Epidot (e) an der Grenze gegen die untere Hälfte und an der ausgenagten Aussenseite. Untere Hälfte $\underline{h}$ und $\underline{h}'$ dunkel gefärbt und stark pleochroitisch, mit der oberen zugleich auslöschend. — Fig. 4b. Querschnitt eines ähnlichen Hornblendekrystalles. $\underline{h}$ wieder dunkel und pleochroitisch, h farblos, in den Cohäsionsverhältnissen mit der anderen Parthie übereinstimmend, c Chlorit. Beide Figuren sind bei Anwendung des unteren Nicols gezeichnet.

Fig. 5. (Porphyroider Aktinolithschiefer 38.) Grosse sonderbar ausgebildete, langgestreckte Hornblendeindividuen (h) bezeichnen durch ihre Anordnung den Verlauf der Parallelstructur des Gesteines. Kleinere Hornblendeindividuen, die porphyrischen, verwitterten Feldspathe (fe) umfliessend, erzeugen Migrationsstructur. Die Ausbildung der (sonst so seltenen) Querfläche und Unterdrückung der (sonst so häufigen) Längsfläche in Übereinstimmung mit der Lagerung, welche Querschnitt (q) zeigt, vollzog sich augenscheinlich unter dem Einflusse derselben Umstände, welche die Parallelstructur des Gesteines zur Folge hatten.

### Tafel XVIII.

Fig. 6. (Hornblendeporphyrit 35.) Fig. 6a. Gemenge, bestehend hauptsächlich aus wasserklarem Quarz (q) und pilitischer Hornblende (p), wozu noch frisches und verwittertes Erz (Eisenhydroxyd, Pyrit, Magnetkies) und etwas Chlorit kommen — in Olivinform. Fig. 6b. Dieselben Elemente in Mandelform resp. in Form concretionärer Gebilde.

Fig. 7. (Hornblendeporphyrit 36.) Hornblendequerschnitt (q) einseitig in Chloritfasern (c) aufgelöst, andererseits davon umflossen. Anzeichen mechanischer Zerkleinerung und gleichzeitig chemischer Umformung am Rande des grösseren Querschnittes und Darstellung der Bewegung der secundären Producte.

Digitized by Google

Fig. 8. (Diallag-Quarzkersantit 41.) Parallele Verwachsung von Biotit und Augit. Der Biotit (b) ist mit seiner Fläche der vollkommensten Spaltbarkeit zur Querfläche des im Querschnitte (q) dargestellten Augites parallel angeordnet.

Fig. 9. (Uralitisirter Diabas 43.) Nahezu einfacher Zwilling von Augit (a) zum grössten Theile in sehr feinverzwillingten, polysynthetischen Uralit (u) verwandelt. a und a' Augitreste, u und u' die einzelnen Uralitzwillingsindividuen, von denen viele sich in vollkommener, viele in hypoparalleler Stellung befinden. Fig. 9 a ist im gewöhnlichen, Fig. 9 b im polarisirten Lichte, und zwar bei gekreuzten Nicols, aufgenommen.

Fig. 10. (Hornblendefels 44.) Typischer Uralit. Einfacher Zwillingskrystall von Uralit nach einer zur Zwillingsgrenze senkrechten Linie treppenförmig verworfen.

Fig. 11. (Augitporphyrit 48.) Fig. 11 a. Gemenge von Chalcedon ähnlichem Quarz (q) und Chlorit (c) in Olivinform (vermuthlich Pseudomorphose nach Olivin). Fig. 11 b. Dasselbe Gemenge, wozu noch Pyrophyllit (p') und in anderen Fällen pilitische Hornblendenadeln treten, in Mandelform. Hier bildet der Chlorit c, wie in der Regel, eine Grenzzone.

## Tafel XIX.

Fig. 12. (Biotit-Hornblende-Gabbro 50.) Diallag resp. Augit (a), Biotit resp. Chloritoid ähnliches Mineral (b), den ersteren lappig umschliessend und Magnetit, aufgelagert auf dem Biotit, den Umrissen der Unterlage angepasst.

Fig. 13. (Uralitgabbro 51.) Uralitpseudomorphose, z. Th. so grob wie feinkörniger Amphibolit; innen lichter Uralit (u), aussen dunklerer Rand (u'); letzterer theilweise losgebrochen, besonders links, theilweise zugleich aufgelöst (rechts unten). Chlorit (c) innen und aussen nebenan. Rechts Darstellung des Weitergreifens der Auflösung hinein in den Saussurit (s). Bei r Rand desselben, bis zu welchem die vollständige Auflösung bisher fortschritt. Umkrystallisirter Epidot (e) dazwischen sichtbar.

Fig. 14. (Diallag-Biotit-Gabbro 54.) Fig. 14 a. Orientirte Verwachsung von Diallag (d), Chlorit (c) und farblosem Pyrophyllit?, der hier wie Kaliglimmer polarisirt (p'); angrenzend bemerkt man saussuritischen Feldspath (fe). Fig. 14 b. Ebensolche Verwachsung von polysynthetisch verzwillingter Hornblende (h und h') und ausgeblasstem Biotit (b).

Fig. 15. (Olivindiabas 55.) Der Querschnitt des Augites (a) zeigt den gewissen dunkelbraunen bis schwarzen faserigen Zersetzungsrand, aussen angrenzend an den umliegenden Bytownit, innen in Nachbarschaft der eingeschlossenen, regelmässig orientirten Plagioklaszwillingsleisten (p).

Fig. 16. (Anorthit-Olivin-Gabbro 56.) Regelmässige Verwachsung von Plagioklas (p) und Augit (a). Längsrichtung des Plagioklasumrisses verläuft parallel zu der durch die Zwillingslamellen (z) gegebenen Projection der Querfläche im Augit. Die Zwillingslamellirung im Plagio-

Digitized by Google

klas dagegen ist parallel zu den, der Verticalaxe des Augites entsprechenden, dunklen nadelförmigen Einlagerungen (d'), welche dem letzteren Diallagstructur ertheilen.

Fig. 17. (Anorthit-Olivin-Gabbro 56.) Fig. 17a. Einseitige Olivinzersetzung mitten im Diallag. Oben frischer Olivinrest (o), in der Mitte gelblicher Serpentin (s), unten Erz (Magnetit?), davon ausgehend Adern von gelblichem Eisenoxydhydrat (l). Fig. 17b. Olivinzersetzung zwischen Plagioklas. Frischer Olivinrest (o), daneben sehr blasser Biotit (b), darunter Talk (ta); ein spangrüner chloritischer Saum (c) umzieht die Olivinpseudomorphosen, indem er sich zwischen diese und den Feldspath einschiebt.

Fig. 18. (Quarzhornblendeandesit 60.) Ursprünglich polysynthetische Hornblendesäule gebrochen und vorwiegend mechanisch zerkleinert; die einzelnen Stücke sodann unter Bildung von Epidot (e) und Quarz (q) theilweise chemisch verändert. Die ursprünglich grüne Hornblende wurde dabei braun gefleckt, Epidot und Quarz haben sich hauptsächlich an den Bruchstellen angehäuft.

## Tafel XX.

Fig. 19. (Quarzbiotitandesit 61.) Fig. 19a. Hornblenderest h innen mit braunen Zersetzungsflecken (b'), an dem besser erhaltenen Rande umsäumt von kleinen braunen Biotitschuppen (b). Fig. 19b. Hornblende im Innern gänzlich in Chlorit (c) verwandelt, am Rande ausgelappt unter Biotitbildung (b); die hier nach vollendeter chemischer Umwandlung losgetrennten Biotitschüppchen erscheinen besonders in der Nähe des Erzes angesammelt.

Fig. 10'. (Diabasporphyrit 45.) Einfacher Zwilling von Faserhornblende mit schief verlaufender, zahnartig in einander greifender Abgrenzung der Individuen h und h' gegen einander.

Fig. 20. (Halbserpentin 66.) Augitrest (a) im Querschnitte sichtbar zwischen Olivinresten (o), welche von Erzadern und Serpentin durchzogen sind. Am unteren Ende des Augitrestes liegt Serpentin (s) und darin vereinzelte, farblose Tremolitnädelchen (t), quer durchschnitten. Letztere sind, trotzdem sie durch die Serpentinmasse getrennt werden, doch sämmtlich unter einander parallel gestellt und ihre Diagonalen gleichzeitig parallel den Diagonalen des Augitquerschnittes (a). Rechts oben setzen sich Tremolitnädelchen (t'), in gleicher Weise orientirt, unmittelbar an die local hier scharf verlaufende Grenze zwischen Augit und Olivin an, wachsen aber einseitig blos in den zersetzten Olivin hinein.

Fig. 21. Ausgeblasster Rest bräunlicher Hornblende (h) aus demselben Halbserpentin 66, mit Anzeichen von Pressung; daraus hervorgegangen farblose Tremolitfasern (t) gemengt mit reichlichem Talk (ta).

Fig. 22. (Serpentin 71.) Schnüre von Erz, gemengt mit Magnesitstaub bilden ein Maschennetz; beiderseits setzen sich, in den die Füllmasse liefernden Serpentin hineinragend, an diese Schnüre gerundete Magnesit-



Digitized by Google

rhomboëderchen an, welche durch Eisengehalt und Verwitterung etwas bräunlichroth gefärbt erscheinen. In dem Serpentine selbst liegen schwarzbraune bis schwarze Kügelchen (k), früher vermuthlich als erzreiche Glaseinschlüsse wohl dem ursprünglichen Olivin angehörend.

Fig. 23. (Grünschiefer 80.) Secundäre Parallelstructur zwischen einer Anhäufung von porphyrischen Plagioklaskrystallen (p) hervorgebracht durch die parallele Anordnung der Neubildungen Quarz (q) und Chlorit (c) sowie Epidot (e). Links unten vollzieht sich der Beginn eines Vorganges, dessen weiterer Verlauf durch das in der Figur angedeutete Eindringen der in der besprochenen Weise gelagerten secundären Producte in die primären Gemengtheile zur Vernichtung ihres porphyrischen Characters führen muss.

Digitized by Google

# Beiträge zur Krystallberechnung*.

Von

**Benno Hecht** in Königsberg i. Pr.

Mit Taf. XXI. XXII.

## Einleitung.

Der Zweck der vorliegenden Arbeit ist eine systematische Eintheilung und Durchführung der Fälle, in welchen die Berechnung der Elemente eines Krystalles durchgeführt werden kann. Um eine solche Eintheilung zu ermöglichen, muss man von der Frage ausgehen, wie viele Flächen an dem Krystall derartig ausgebildet sein müssen, dass sie zu Messungen benutzt werden können. Ferner wird man dann voraussetzen müssen, dass zwischen diesen Flächen die gemessenen Winkel liegen. Es wird sich also um die Eintheilung der Flächencombinationen, welche die Elemente zu berechnen gestatten, handeln und nicht um Eintheilung der Winkelbeobachtungscombinationen. Legt man letztere zu Grunde, so kommt man zu einer unabsehbaren Anzahl von Specialfällen. So hat M. Websky z. B. bei dem monoklinen System 90 Fälle behandelt. Es zeigt sich nun, dass von diesem Gesichtspunkte aus bei dem triklinen System nur ein Fall möglich ist. Ausser diesem wird noch ein zweiter Fall behandelt, in welchem die Beobachtungen besonders vereinfacht werden, da bei demselben nur Winkel beobachtet werden, die in drei verschie-

* Vom Verf. im März 1887 der philosophischen Facultät zu Königsberg i. Pr. als Habilitationsschrift vorgelegt.



Digitized by Google

denen Zonen liegen, während bei dem ersten fünf verschiedene Zonen beobachtet werden müssen. Diese Zweitheilung setzt sich durch das monokline, rhombische, tetragonale und hexagonale System fort. Dabei zeigt sich aber, dass gewissermassen eine Verschiebung der Aufgabe beim Übergang zu den folgenden Systemen stattfindet, indem bei dem triklinen System die Wahl der Indices willkürlich und die Berechnung der Elemente schwieriger ist, dagegen bei den übrigen Systemen die Berechnung der Elemente immer einfacher und die Wahl der Indices immer schwieriger wird. Durch diese Verschiebung tritt bei dem tetragonalen und hexagonalen System noch je ein Fall hinzu, in welchem das Axenverhältniss zugleich mit einem Index berechnet werden muss.

Was den Gang der Darstellung anbetrifft, so werden in dem ersten Kapitel einige geometrische und krystallographische Sätze, die für das Folgende in Betracht kommen, zum Theil ohne Beweis, angeführt. In dem zweiten bis siebenten Kapitel werden die einzelnen Krystallsysteme behandelt, und zwar werden zunächst diejenigen Flächencombinationen bestimmt, welche eine Berechnung der Axenelemente gestatten. Dann werden aus den zwischen diesen Flächen liegenden Winkeln die Axenelemente berechnet, wobei die Einführung von Hülfsflächen möglichst vermieden, so dass z. B. in dem ersten Fall beim triklinen System keine solche benutzt wird, während nach der von M. Websky angegebenen Methode bei diesem 11 Hülfsflächen gebraucht werden. Ferner ist für diesen Fall das ganze Schlussresultat in einer einzigen Gleichung (II, 8) resp. (II, 9) dargestellt. Mit den gefundenen Axenelementen werden dann die Indices aller beobachteten Flächen berechnet und darauf nach der Methode der kleinsten Quadrate aus allen Beobachtungen die wahrscheinlichsten Werthe der Axenelemente bestimmt. Schliesslich wird dann noch eine Transformation der Indices und Axenelemente durchgeführt.

In einem achten Kapitel wird die Berechnung der Zwillingskrystalle behandelt.

Die Formeln sind in jedem Kapitel fortlaufend nummerirt und wird dieser Nummer, wenn die Formel in einem anderen Kapitel citirt wird, die Zahl des Kapitels, zu dem sie gehört, in römischer Ziffer zugesetzt.

Digitized by Google

An dieser Stelle möge es mir noch gestattet sein, Herrn Th. Liebisch meinen wärmsten Dank dafür auszusprechen, dass er mich auf den behandelten Gegenstand aufmerksam und mir einen Theil der Literatur zugänglich gemacht hat.

## Kapitel I.

### Allgemeines.

### §. 1. Die Fundamentalgleichung der räumlichen Goniometrie.

Die Fundamentalgleichung der räumlichen Goniometrie[1] setzt die Cosinusse der Winkel, welche fünf Linien $L_1$ $L_2$ $L_3$ $L_4$ und $L_5$ mit einander bilden, zu einander in Beziehung. Bezeichnet man $\cos(L_h L_k)$ mit $c_{hk}$, so lautet sie:

$$(1) \qquad \begin{vmatrix} c_{45} & c_{41} & c_{42} & c_{43} \\ c_{15} & c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{25} & c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{35} & c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{vmatrix} = 0.$$

Es sollen nun die Linien $L_1$ $L_2$ $L_3$ mit den krystallographischen Axen zusammenfallen und folgende Bezeichnungen eingeführt werden:

$$(2) \qquad \begin{vmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{vmatrix} = D_0 \quad , \quad \begin{vmatrix} c_{h+1,\,k+1} & c_{h+1,\,k+2} \\ c_{h+2,\,k+1} & c_{h+2,\,k+2} \end{vmatrix} = D_{hk}.$$

Die Indices sind hierin mod. 3 zu nehmen.

Ferner gelten folgende Relationen:

$$(3) \qquad \begin{aligned} \sum_1^3 h\, c_{hi}\, D_{hk} &= 0, \quad \text{wenn } i \gtrless k \text{ ist,} \\ &= D_0, \text{ wenn } i = k \text{ ist.} \end{aligned}$$

Die Gleichung (1) lässt sich mit Benutzung dieser Bezeichnungsweise schreiben:

$$D_0\, c_{45} = \sum_1^3 h \sum_1^3 k\, D_{hk}\, c_{4h}\, c_{5k}.$$

Es sollen nun, um Verwechslungen zu vermeiden, die Bezeichnungen c und D nur für die Cosinusse der Winkel zwischen den krystallographischen Axen und deren Determinanten gebraucht werden. Der Winkel zwischen zwei Linien, die

[1] Th. Liebisch, Geometrische Krystallographie. Leipzig 1881, p. 78.

Digitized by Google

mit $N_p$ und $N_q$ bezeichnet werden mögen, soll $\varphi_{pq}$ und sein Cosinus $\gamma_{pq}$ genannt werden. Auch für $\cos(N_p \pi_h)$ soll $\gamma_{ph}$ gesetzt werden. Die Bezeichnung $N_p$ soll auch für die auf $N_p$ senkrechte Fläche gelten, so dass also die „Linie $N_p$" eine Kante oder Flächennormale und die „Fläche $N_p$" die auf der Linie $N_p$ senkrecht stehende Fläche bedeutet. Die Gegenfläche zu $N_p$ und deren Normale sollen mit $-N_p$ bezeichnet werden. Unter dem Winkel zweier Flächen soll immer der äussere Flächenwinkel verstanden werden, der also gleich dem Winkel ist, den die beiden Normalen mit einander bilden.

Man erhält so nach Einführung der $\gamma$ in obige Gleichung für den Winkel, den die Flächen $N_p$ und $N_q$ mit einander bilden:

$$D_0 \gamma_{pq} = \sum_1^3 h \sum_1^3 k \, D_{hk} \gamma_{ph} \gamma_{qk}. \tag{4}$$

## §. 2. Indices von Flächen und Linien.

Die zur Einheitsfläche gewählte Fläche schneide von den Axen $\pi_1 \pi_2 \pi_3$ Stücke ab, die sich verhalten wie $a_1 : a_2 : a_3$. Die Grössen a sind dann die „Axeneinheiten". Eine Fläche $N_p$ schneide von den Axen Stücke ab, die sich verhalten wie $a_1/f_{p1} : a_2/f_{p2} : a_3/f_{p3}$. Die Grössen $f_{p1}\, f_{p2}\, f_{p3}$ heissen dann die „Indices" der Fläche und müssen rationale und, da man sie gleichzeitig mit einem beliebigen Factor multipliciren kann, ganze Zahlen sein, wie man aus dem durch die Beobachtung festgestellten Zonengesetz[1] folgern kann. Man bezeichnet die Fläche $N_p$ auch mit $(f_{p1}\, f_{p2}\, f_{p3})$. Die Indices der Gegenfläche sind denen der Fläche $N_p$ entgegengesetzt gleich.

Die Indices der Fläche $N_p$ hängen mit den Winkeln, die die Normale $N_p$ mit den Axen $\pi_1 \pi_2 \pi_3$ bildet, durch folgende Proportion zusammen:

$$f_{p1}/a_1 : f_{p2}/a_2 : f_{p3}/a_3 = \gamma_{p1} : \gamma_{p2} : \gamma_{p3}.$$

Man kann hierfür auch schreiben:

$$f_{p1}/a_1 \doteq \gamma_{p1} \tag{5}$$

Das Zeichen $\doteq$, von dem im Folgenden ein sehr ausgedehnter Gebrauch gemacht werden wird, soll bedeuten, dass

[1] Th. Liebisch, l. c. p. 30.

Digitized by Google

die Gleichheit nur bis auf einen Factor P stattfindet, der aber für alle in der Formel enthaltenen Fälle derselbe ist, so dass er bei Bildung der Verhältnisse fortfällt.

Wenn man die Axen $\pi_1$ $\pi_2$ $\pi_3$ als schiefwinklige Coordinatenaxen betrachtet, so mögen sich die Coordinaten eines Punktes der durch den Coordinatenanfangspunkt gehenden Linie $N_p$ verhalten wie $e_{p1} a_1 : e_{p2} a_2 : e_{p3} a_3$. Man bezeichnet die Grössen $e_{p1} e_{p2} e_{p3}$ als die „Indices" der Linie $N_p$. Dieselben können ebenfalls alle drei mit einem Factor multiplicirt werden.

Der Zusammenhang der Indices der Linie $N_p$ mit den Winkeln, die $N_p$ mit $\pi_1$ $\pi_2$ $\pi_3$ bildet, ergiebt sich auf folgende Weise. Aus der Definition der Grössen $e_{pi}$ folgt zunächst:

$$(6)\quad e_{p1} a_1 : e_{p2} a_2 : e_{p3} a_3 = \cos(N_p \nu_1)/\cos(\pi_1 \nu_1) : \cos(N_p \nu_2)/\cos(\pi_2 \nu_2) : \cos(N_p \nu_3)/\cos(\pi_3 \nu_3),$$

worin $\nu_h$ die Normale auf der durch $\pi_{h+1}$ und $\pi_{h+2}$ gehenden Axenebene ist.

Aus der Gleichung (4) folgt ferner:

$$D_0 \cos(N_p \nu_i) = \sum_1^3{}_h \sum_1^3{}_k D_{hk} \gamma_{ph} \cos(\nu_i \pi_k) = \cos(\nu_i \pi_i) \sum_1^3{}_h D_{hi} \gamma_{ph}.$$

Es ergiebt sich also aus (6):

$$(7)\quad e_{pi} a_i \doteq \cos(N_p \nu_i)/\cos(\pi_i \nu_i) \doteq \sum_1^3{}_h D_{hi} \gamma_{ph}.$$

Hieraus folgt:

$$(8)\quad \sum_1^3{}_i c_{qi} e_{pi} a_i \doteq \gamma_{pq}.$$

## §. 3. Zonengleichung.

Liegt die Linie $N_n$ in der Fläche $N_p$, so muss sie auf der Linie $N_p$ senkrecht stehen; es muss also sein:

$$0 = \sum_1^3{}_h \sum_1^3{}_k D_{hk} \gamma_{ph} \gamma_{nk}$$

Führt man für $\gamma_{ph}$ und $\gamma_{nk}$ ihre Werthe aus den Gleichungen (5) und (8) ein, so ergiebt sich:

$$0 = \sum_1^3{}_h \sum_1^3{}_k D_{hk} \cdot f_{ph}/a_h \cdot \sum_1^3{}_i c_{ki} e_{ni} a_i.$$

Digitized by Google

Summirt man hierin zuerst über k, so giebt $\Sigma_k D_{hk} c_{ki}$ nur für $h = i$ den Werth $D_o$. Man erhält also:

$$0 = \sum_1^s f_{pi} e_{ni}. \tag{9}$$

als Bedingung dafür, dass die Linie $N_n$ in der Fläche $N_p$ liegt.

Soll eine Linie in zwei krystallographisch möglichen Flächen $N_p$ und $N_q$ liegen, soll sie also eine krystallographisch mögliche Kante sein, so muss diese Bedingung für beide Flächen erfüllt sein, also:

$$0 = \sum_1^s f_{pi} e_{ni} \ , \ 0 = \sum_1^s f_{qi} e_{ni}.$$

Daraus folgt:

$$e_{ni} \doteq f_{p,i+1} f_{q,i+2} - f_{p,i+2} f_{q,i+1}. \tag{10}$$

Folglich müssen die Indices einer krystallographisch möglichen Kante ebenfalls ganze Zahlen sein. Die Kante $N_n$ heisst die Axe der Zone $N_p$ $N_q$. Die Zone kann auch nach ihrer Axe benannt werden; im vorliegenden Fall würde sie also die Zone $N_n$ heissen (Fig. 1).

Soll in dieser Zone auch noch die Fläche $N_r$ liegen, so ist auch:

$$0 = \sum_1^s f_{ri} e_{ni}.$$

Es muss also die Determinante

$$\begin{vmatrix} f_{p1} & f_{p2} & f_{p3} \\ f_{q1} & f_{q2} & f_{q3} \\ f_{r1} & f_{r2} & f_{r3} \end{vmatrix} = 0 \tag{11}$$

sein. Dieses ist die Zonengleichung. Man kann ihr noch andere Gestalten geben. Zunächst kann man dafür schreiben:

$$f_{ri} \doteq m_{rp} f_{pi} + m_{rq} f_{qi}, \tag{12}$$

worin $m_{rp}$ und $m_{rq}$ ganze Zahlen sein müssen. Die Vorzeichen dieser Zahlen richten sich nach der Lage von $N_r$ gegen $N_p$ und $N_q$. Liegt $N_r$

(13)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| zwischen | $N_p$ und | $N_q$, | so ist | $m_{rp} > 0$, $m_{rq} > 0$, |
| „ | $N_p$ „ | $-N_q$, | „ „ | $m_{rp} > 0$, $m_{rq} < 0$, |
| „ | $-N_p$ „ | $N_q$, | „ „ | $m_{rp} < 0$, $m_{rq} > 0$, |
| „ | $-N_p$ „ | $-N_q$, | „ „ | $m_{rp} < 0$, $m_{rq} < 0$. |

Digitized by Google

Zweitens kann man in (11) für die f ihre Werthe aus (5) setzen und erhält dann:

$$\begin{vmatrix} \gamma_{p1} & \gamma_{p2} & \gamma_{p3} \\ \gamma_{q1} & \gamma_{q2} & \gamma_{q3} \\ \gamma_{r1} & \gamma_{r2} & \gamma_{r3} \end{vmatrix} = 0 \tag{14}$$

als Bedingung dafür, dass die Flächen $N_p$ $N_q$ und $N_r$ in einer Zone liegen. Diese Bedingung bleibt auch bestehen, wenn die Linien 1, 2, 3 nicht die Axen, sondern beliebige Linien sind.

## §. 4. Einführung der Grössen $z_{hk}$ statt der Axenelemente.

Setzt man in Gleichung (4) für die $\gamma$ ihre Werthe aus (5), so ergiebt sich:

$$D_o \gamma_{pq} = P_p P_q \sum_1^3{}_h \sum_1^3{}_k D_{hk} f_{ph} f_{qk} / a_h a_k.$$

Es soll nun

$$D_{hk}/a_h a_k = z_{hk} \tag{15}$$

gesetzt werden. Die Einführung dieser Grössen statt der Axenelemente bietet für die Rechnung gewisse Vortheile. Einer derselben, auf den hier schon aufmerksam gemacht werden soll, ist der, dass die sechs Grössen z vollständig gleichartig gebaut sind und dass es nur auf die Verhältnisse dieser sechs Grössen ankommt, indem durch Multiplication mit einem beliebigen Factor nur die Axeneinheiten durch die Quadratwurzel aus diesem Factor dividirt erscheinen, so dass ihr Verhältniss nicht geändert ist.

Um den Übergang von den Grössen z zu den Axenelementen machen zu können, soll die Determinante

$$\begin{vmatrix} z_{h+1,\,k+1} & z_{h+1,\,k+2} \\ z_{h+2,\,k+1} & z_{h+2,\,k+2} \end{vmatrix} = Z_{hk} \tag{16}$$

gebildet werden. Setzt man hierin für z die Werthe aus (15), so folgt:

$$\begin{aligned} Z_{hk} &= c_{hk} D_o / a_{h+1} a_{h+2} a_{k+1} a_{k+2} \\ c_{hk} a_h a_k &= Z_{hk}. \end{aligned} \tag{17}$$

Für $h = k$ folgen hieraus bei gegebenen z die Grössen $a_h$ und dann für $k = h + 1$ die Grössen $c_{h,\,h+1}$.

Nach Einführung der Grössen $z_{hk}$ soll nun noch

Digitized by Google

(18) $$\sum_{1}^{3}{}_{h}\sum_{1}^{3}{}_{k} z_{hk} f_{ph} f_{qk} = S_{pq}$$

gesetzt werden. Dann ist:

$$D_0 \cdot \gamma_{pq} = P_p P_q S_{pq}.$$

Für $p = q$ und $q = p$ folgt:

$$D_0 = P_p^2 \cdot S_{pp}\ ,\ D_0 = P_q^2 S_{qq}.$$

Also ergiebt sich schliesslich:

(19) $$\gamma_{pq} = S_{pq}/\sqrt{S_{pp} \cdot S_{qq}}.$$

## §. 5. Zusammenhang zwischen den Winkeln und Indices von Flächen, die in einer Zone liegen.

Aus Gleichung (19) folgt:

$$\gamma_{pr} = S_{pr}/\sqrt{S_{pp} S_{rr}}\ ,\ \gamma_{qr} = S_{qr}/\sqrt{S_{qq} S_{rr}}$$

Durch Division dieser beiden Gleichungen erhält man:

$$\gamma_{pr} S_{qr} \sqrt{S_{pp}} = \gamma_{qr} S_{pr} \sqrt{S_{qq}}$$

Liegt $N_r$ in der Zone $N_p N_q$, so folgt aus (12) und (18):

$$S_{pr} = P_r(m_{rp} S_{pp} + m_{rq} S_{pq})$$
$$S_{qr} = P_r(m_{rp} S_{pq} + m_{rq} S_{qq}).$$

Setzt man diese Werthe in die vorhergehende Gleichung ein, so geht dieselbe über in:

$$\gamma_{pr} \sqrt{S_{pp}} (m_{rp} S_{pq} + m_{rq} S_{qq}) = \gamma_{qr} \sqrt{S_{qq}} (m_{rp} S_{pp} + m_{rq} S_{pq})$$

Dividirt man diese Gleichung durch $\sqrt{S_{pp} S_{qq}}$, so ergiebt sich

(20) $$m_{rp} \sqrt{S_{pp}} (\gamma_{pr}\gamma_{pq} - \gamma_{qr}) = m_{rq} \sqrt{S_{qq}} (\gamma_{qr}\gamma_{pq} - \gamma_{pr}).$$

Für eine vierte Fläche $N_s$, die ebenfalls in der Zone $N_p N_q$ liegt, gilt analog:

$$m_{sp} \sqrt{S_{pp}} (\gamma_{ps}\gamma_{pq} - \gamma_{qs}) = m_{sq} \sqrt{S_{qq}} (\gamma_{qs}\gamma_{pq} - \gamma_{ps}).$$

Sind also zwischen den Flächen $N_p N_q N_r$ einer Zone zwei Winkel gemessen und sind die Indices dieser Flächen bekannt, so ist damit $\sqrt{S_{pp}}/\sqrt{S_{qq}}$ bestimmt und es kann die Lage jeder beliebigen vierten Fläche $N_s$ aus ihren Indices bestimmt werden[1], ohne dass man die Axenelemente des Kry-

[1] Gleichung (20), mit der darauf folgenden Gleichung combinirt, ergiebt den Satz von der Gleichheit der Doppelverhältnisse, die man aus den Indices resp. den Winkeln der vier Flächen bilden kann.

Digitized by Google

stalles kennt. Es kommen also im Allgemeinen in jeder Zone nur zwei von einander unabhängige Winkel vor und man kann nur die Messungen von zwei Winkeln zwischen Flächen einer Zone zur Berechnung der Axenelemente benutzen. Ist aus Rücksicht auf die Symmetrie des Krystallsystems ein Winkel in einer Zone von vorn herein angebbar, so kann in derselben nur noch ein gemessener Winkel zur Berechnung verwerthet werden. Sind zwei Winkel in einer Zone von vorn herein bestimmt, so ist kein Winkel dieser Zone zur Berechnung der Axenelemente zu benutzen.

## §. 6. Zusammenhang zwischen den Indices von vier Flächen, von denen nicht drei in einer Zone liegen.

Sind $N_p$ $N_q$ und $N_t$ drei Flächen, die nicht in einer Zone liegen, so lassen sich die Indices einer vierten Fläche $N_u$ (Taf. XXI Fig. 1) in der Form:

(21) $$f_{ui} \doteq m_{up} f_{pi} + m_{uq} f_{qi} + m_{ut} f_{ti}$$

darstellen, wie aus Gleichung (12) hervorgeht, da $N_u$ mit $N_t$ und einer Fläche $N_v$ der Zone $N_p$ $N_q$ in einer Zone liegen muss. Die Grössen m sind ganze Zahlen, und zwar ist

(22)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $m_{up}>0$, | $m_{uq}>0$, | $m_{ut}>0$, | wenn $N_u$ in der Ecke | $N_p$ $N_q$ $N_t$ liegt |
| $m_{up}>0$, | $m_{uq}>0$, | $m_{ut}<0$, | „ „ „ „ „ | $N_p$ $N_q$ $-N_t$ „ |
| $m_{up}>0$, | $m_{uq}<0$, | $m_{ut}>0$, | „ „ „ „ „ | $N_p$ $-N_q$ $N_t$ „ |
| $m_{up}>0$, | $m_{uq}<0$, | $m_{ut}<0$, | „ „ „ „ „ | $N_p$ $-N_q$ $-N_t$ „ |
| $m_{up}<0$, | $m_{uq}>0$, | $m_{ut}>0$, | „ „ „ „ „ | $-N_p$ $N_q$ $N_t$ „ |
| $m_{up}<0$, | $m_{uq}>0$, | $m_{ut}<0$, | „ „ „ „ „ | $-N_p$ $N_q$ $-N_t$ „ |
| $m_{up}<0$, | $m_{uq}<0$, | $m_{ut}>0$, | „ „ „ „ „ | $-N_p$ $-N_q$ $N_t$ „ |
| $m_{up}<0$, | $m_{uq}<0$, | $m_{ut}<0$, | „ „ „ „ „ | $-N_p$ $-N_q$ $-N_t$ „ |

## §. 7. Zusammenhang der Indices einer Fläche mit den Indices der Flächennormale.

Um den Zusammenhang der Indices einer Fläche $N_p$ mit den Indices ihrer Normalen zu bestimmen, sollen für die Grössen $\gamma$ in Gleichung (7) ihre Werthe aus Gleichung (5) eingesetzt werden. Es ergiebt sich so:

(23) $$e_{pi} a_i \doteq \sum_{1}^{3h} D_{hi} f_{ph} / a_h.$$

Aus Gleichung (5) und (8) folgt:

Digitized by Google

(24) $$f_{pi}/a_i = \sum_1^3{}_h c_{hi} e_{ph} a_h.$$

Im Allgemeinen sind, wie sich aus (23) ergiebt, die Indices der Flächennormalen nicht rational und folglich sind die Flächennormalen im Allgemeinen nicht krystallographisch mögliche Kanten. Nur in folgenden Fällen ist die Flächennormale zugleich mögliche Kante:

1. Im regulären System für alle Flächen.
2. Im tetragonalen und hexagonalen System für die Flächen aus der Zone der Hauptaxe und für die Basis.
3. Im rhombischen System für die Flächen (100), (010), (001).
4. Im monoklinen System für die Fläche (010).

## Kapitel II.

## Triklines System.

### §. 1. Bestimmung der Axenelemente aus gemessenen Flächenwinkeln.

Das trikline System ist dadurch charakterisirt, dass für die dazu gehörigen Krystalle weder die Winkel zwischen den krystallographischen Axen noch die Verhältnisse der Axeneinheiten einen von vorn herein angebbaren Werth besitzen. Es sind also fünf Grössen zu bestimmen und man muss dazu mindestens fünf von einander unabhängige Winkel messen.

Zwischen drei Flächen $N_1$ $N_2$ $N_3$ (Taf. XXI Fig. 2), die nicht in einer Zone liegen, sind nur drei Winkel zu messen. Es muss also an dem Krystall noch eine vierte Fläche $N_0$ vorhanden sein. Hier bietet sich nun ein wesentlicher Unterschied dar, je nachdem diese Fläche in einer der durch die ersten drei Flächen bestimmten Zonen liegt oder nicht.

Liegt $N_0$ in keiner der Zonen $N_1$ $N_2$, $N_2$ $N_3$, $N_3$ $N_1$, so besteht zwischen den sechs Winkeln, welche die vier Flächen mit einander bilden, nur die aus (I, 1) folgende Relation:

(1) $$\begin{vmatrix} \gamma_{00} & \gamma_{01} & \gamma_{02} & \gamma_{03} \\ \gamma_{10} & \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} \\ \gamma_{20} & \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} \\ \gamma_{30} & \gamma_{31} & \gamma_{32} & \gamma_{33} \end{vmatrix} = 0$$

Digitized by Google

Es sind dann also zwischen den vier Flächen fünf von einander unabhängige Winkel zu messen.

Liegt die vierte Fläche in einer der durch die ersten drei Flächen bestimmten Zonen, etwa in der Zone $N_2 N_3$, so soll sie mit $N_4$ bezeichnet werden (Taf. XXI Fig. 3). Zwischen den sechs Winkeln, welche diese vier Flächen mit einander bilden, besteht ausser der Gleichung (1), in der nur 4 statt 0 zu setzen ist, die Relation:

$$\begin{vmatrix} \gamma_{41} & \gamma_{42} & \gamma_{43} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} \\ \gamma_{31} & \gamma_{32} & \gamma_{33} \end{vmatrix} = 0$$

Es sind also dann nur vier von einander unabhängige Winkel vorhanden und es muss noch eine fünfte Fläche vorhanden sein, damit man die Axenelemente bestimmen kann. Läge diese in keiner der Zonen $N_1 N_2$, $N_2 N_3$, $N_3 N_1$, so würde man auf den ersten Fall geführt, indem man dann die Winkel, welche diese Fläche mit $N_1 N_2 N_3$ bildet, messen könnte. In der Zone $N_2 N_3$ kann die fünfte Fläche $N_5$ auch nicht liegen, da nach I §. 5 in einer Zone nur zwei von einander unabhängige Winkel gemessen werden können. Folglich muss $N_5$ in einer der Zonen $N_3 N_1$ und $N_1 N_2$ liegen.

Es giebt also zwei[1] Fälle, in denen die Berechnung der Axenelemente möglich ist. Dieser Zweitheilung entspricht eine andere, welche die willkürlich wählbaren Grössen betrifft. Bei dem triklinen System sind im Ganzen 8 Grössen (mit gewissen Beschränkungen) willkürlich wählbar. Es sind dieses je zwei Grössen, welche die Richtung einer Axe bestimmen und die beiden Verhältnisse der drei Axeneinheiten. Dem entsprechend kann man acht Indicesverhältnisse willkürlich wählen. Wählt

[1] Es lässt sich auch Fall B auf Fall A zurückführen, indem die Flächen $N_1 N_2 N_4 N_5$ einen Complex bilden, von dem nicht drei Flächen in einer Zone liegen. Indessen soll der Fall B doch gesondert betrachtet werden, da man bei ihm auch mit Winkelmessungen in drei Zonen auskommt, während bei Fall A in fünf Zonen Messungen angestellt werden müssen. Die entsprechende Theilung wird auch für die folgenden Systeme beibehalten werden.

Ein Dritter von M. Websky (Monatsber. Akad. Berlin 1879, 356) aufgestellter Fall lässt sich ebenfalls auf Fall A oder B zurückführen, wenn man andere Winkel zwischen den vorhandenen Flächen misst, als M. Websky annimmt, zumal auch M. Websky alle vorhandenen Flächen zu Messungen benutzt.

Digitized by Google

man die Indices dreier Flächen, die nicht in einer Zone liegen, beliebig, so bleiben noch zwei willkürlich wählbare Grössen übrig. Man kann nun noch die Indices einer vierten Fläche, die nicht mit zweien von den ersten Flächen in einer Zone liegt, (mit gewissen Einschränkungen) willkürlich wählen oder man kann für zwei Flächen, die in zwei verschiedenen, durch die ersten drei Flächen bestimmten Zonen liegen, je eine Grösse m beliebig wählen.

Es sollen nun die beiden Fälle gesondert behandelt werden.

A. Es sind an dem Krystall vier Flächen $N_1 N_2 N_3 N_0$ vorhanden, von denen nicht drei in einer Zone liegen.

Sind von den sechs Winkeln, welche die vier Flächen mit einander bilden, nur fünf gemessen, so kann man den sechsten nach Gleichung (1) berechnen. Da diese Gleichung für jedes $\gamma$ vom zweiten Grade ist, was dem Umstande entspricht, dass bei gemessenem $\varphi_{12}$, $\varphi_{23}$, $\varphi_{31}$, $\varphi_{01}$, $\varphi_{02}$ die Normale mit $N_0$ und $N_0'$ (Taf. XXI Fig. 2) zusammenfallen kann, so muss durch den Anblick des Krystalles oder durch eine angenäherte Messung über den richtigen Werth des sechsten Winkels entschieden werden.

Sind alle sechs Winkel gemessen, so müssen dieselben die Gleichung (1) befriedigen. Ist dieses nicht der Fall, so muss man nach der Methode der kleinsten Quadrate, unter Berücksichtigung der Gleichung (1) als Bedingungsgleichung, die wahrscheinlichsten Werthe der sechs Winkel berechnen.

Die Indices von drei Flächen, z. B. $N_1 N_2 N_3$, kann man beliebig wählen; nur ihre Determinante muss von Null verschieden sein, da die drei Flächen nicht in einer Zone liegen sollen. Die Indices der vierten Fläche unterliegen dann gewissen Beschränkungen, deren Nichtbeachtung zu Widersprüchen führen würde. Stellt man dieselben indessen nach I §. 6 in der Form:

$$f_{0i} \doteq m_{01} f_{1i} + m_{02} f_{2i} + m_{03} f_{3i} \tag{2}$$

dar, so sind die Zahlen m willkürlich wählbar; nur ihr Vorzeichen ist mit Rücksicht auf (I, 22) zu bestimmen.

Hat man es mit einem schon bekannten Mineral zu thun, dessen Flächen schon symbolisirt sind, so kann man aus den

Digitized by Google

Grössen f die Grössen m durch Auflösung der Gleichungen (2) berechnen. Es werde zu dem Zweck gesetzt:

$$(3)\quad \begin{vmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} \end{vmatrix} = F_0 \quad , \quad \begin{vmatrix} f_{h+1,k+1} & f_{h+1,k+2} \\ f_{h+2,k+1} & f_{h+2,k+2} \end{vmatrix} = F_{hk}$$

$$\sum_1^3 k\, f_{0k} F_{1k} = F_1 \ , \ \sum_1^3 k\, f_{0k} F_{2k} = F_2 \ , \ \sum_1^3 k\, f_{0k} F_{3k} = F_3 .$$

Ferner gelten folgende Relationen:

$$(3)\quad \begin{aligned} \sum_1^3 k\, f_{pk} F_{qk} &= F_0, \text{ wenn } p = q \text{ ist} \\ &= 0, \quad \text{wenn } p \lessgtr q \text{ ist.} \\ \sum_1^3 h\, f_{hp} F_{hq} &= F_0, \text{ wenn } p = q \text{ ist} \\ &= 0, \quad \text{wenn } p \lessgtr q \text{ ist.} \end{aligned}$$

Durch Auflösung der Gleichungen (2) erhält man nun:

$$(4)\quad m_{0i} \doteq F_i$$

Die Determinanten, die aus den $\gamma_{hk}$ analog gebildet sind, wie die F aus den $f_{hk}$, sollen mit $\Delta_h$ und $\Delta_{hk}$ bezeichnet werden.

Es sollen nun aus den sechs Winkeln und den Indices der vier Flächen die Axenelemente berechnet werden.

Nach (I, 19) ist:

$$(5)\quad \gamma_{pq} = S_{pq} / \sqrt{S_{pp}\, S_{qq}}$$

Hieraus folgt:

$$\Delta_{pq} = \frac{S_{p+1,q+1} S_{p+2,q+2} - S_{p+1,q+2} S_{p+2,q+1}}{\sqrt{S_{p+1,p+1} S_{p+2,p+2} S_{q+1,q+1} S_{q+2,q+2}}}$$

$$= \frac{\sum_1^3 h \sum_1^3 k \sum_1^3 m \sum_1^3 n (z_{hk} z_{mn} - z_{hn} z_{mk}) f_{p+1,h} f_{q+1,k} f_{p+2,m} f_{q+2,n}}{\sqrt{S_{p+1,p+1} S_{p+2,p+2} S_{q+1,q+1} S_{q+2,q+2}}}$$

Die Indices sind mod. 3 zu nehmen.

Der Ausdruck in der Klammer verschwindet für $n = k$ und für $n = h$ und nimmt

für $n = k+1$, $m = h+1$ den Werth $Z_{h+2,k+2}$
„ $n = k+1$, $m = h+2$ „ „ $-Z_{h+1,k+2}$
„ $n = k+2$, $m = h+1$ „ „ $-Z_{h+2,k+1}$
„ $n = k+2$, $m = h+2$ „ „ $Z_{h+1,k+1}$

an. Die im Zähler stehende Summe kann man also folgendermassen schreiben:

Digitized by Google

$$\sum_1^3 h \sum_1^3 k (Z_{h+2,k+2} f_{p+2,h+1} f_{q+2,k+1} - Z_{h+1,k+2} f_{p+2,h+2} f_{q+2,k+1} - Z_{h+2,k+1} f_{p+2,h+1} f_{q+2,k+2} + Z_{h+1,k+1} f_{p+2,h+2} f_{q+2,k+2}) \times f_{p+1,h} f_{q+1,k}$$

Setzt man nun

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| in | dem | ersten | Gliede | $h+1$ | und | $k+1$ |
| „ | „ | zweiten | „ | $h+2$ | „ | $k+1$ |
| „ | „ | dritten | „ | $h+1$ | „ | $k+2$ |
| „ | „ | vierten | „ | $h+2$ | „ | $k+2$ |

statt h und k, so erhält man:

$$\sum_1^3 h \sum_1^3 k Z_{hk} (f_{p+1,h+1} f_{q+1,k+1} f_{p+2,h+2} f_{q+2,k+2} - f_{p+1,h+2} f_{q+1,k+1} f_{p+2,h+1} f_{q+2,k+2} - f_{p+1,h+1} f_{q+1,k+2} f_{p+2,h+2} f_{q+2,k+1} + f_{p+1,h+2} f_{q+1,k+2} f_{p+2,h+1} f_{q+2,k+1}) = \sum_1^3 h \sum_1^3 k Z_{hk} F_{ph} F_{qk}.$$

Es ist also:

$$\Delta_{pq} = \sum_1^3 h \sum_1^3 k Z_{hk} F_{ph} F_{qk} / \sqrt{S_{p+1,p+1} S_{p+2,p+2} S_{q+1,q+1} S_{q+2,q+2}}$$

Für $p = 1, 2, 3$ erhält man dann

$$\frac{\Delta_p}{\sqrt{S_{pp} S_{00}}} = \frac{\sum_1^3 q \gamma_{0q} \Delta_{pq}}{\sqrt{S_{pp} S_{00}}} = \frac{\sum_1^3 q \sum_1^3 h \sum_1^3 k \sum_1^3 m \sum_1^3 n z_{hk} Z_{mn} f_{oh} f_{qk} F_{pm} F_{qn}}{S_{00} S_{11} S_{22} S_{33}}$$

Führt man hierin zuerst die Summation nach q aus, so ergiebt $\sum_1^3 q f_{qk} F_{qn}$ nur für $n = k$ den Werth $F_o$. Summirt man dann nach k, so giebt $\sum_1^3 k z_{hk} Z_{mk}$ nur für $m = h$ den Werth Z. Schliesslich ist noch $\sum_1^3 h f_{oh} F_{ph}$ zu bilden, was $F_p$ als Resultat ergiebt, so dass also folgt:

$$\Delta_p / \sqrt{S_{pp} S_{00}} = Z F_o F_p / S_{00} S_{11} S_{22} S_{33}.$$

Ähnliche Summationen, wie sie hier ausgeführt sind, werden noch mehrmals vorkommen, sollen aber dann nicht so ausführlich behandelt werden.

Bildet man nun $\Delta_o$, so ergiebt sich:

$$\frac{\Delta_o}{S_{00}} = \frac{\sum_1^3 q \gamma_{pq} \Delta_{pq}}{S_{00}} = \frac{\sum_1^3 q \sum_1^3 h \sum_1^3 k \sum_1^3 m \sum_1^3 z_{hk} Z_{mn} f_{ph} f_{qk} F_{pm} F_{qn}}{S_{00} S_{11} S_{22} S_{33}}$$
$$= Z F_0^2 / S_{00} S_{11} S_{22} S_{33}.$$

Digitized by Google

Man erhält also für $p = 0, 1, 2, 3$:

(6) $$\Delta_p \doteq F_p \sqrt{S_{pp}}$$

Aus (5) folgt dann:

(7) $$S_{pq} \doteq \gamma_{pq} \Delta_p \Delta_q / F_p F_q.$$

Bildet man $\sum_1^3 p \sum_1^3 q \, S_{pq} \, F_{ph} \, F_{qk}$ und setzt darin einmal für $S_{pq}$ seinen Werth aus (7) und dann den aus (I, 18) folgenden, so ergiebt sich:

$$\sum_1^3 p \sum_1^3 q \gamma_{pq} \cdot \Delta_p \Delta_q / F_p F_q \cdot F_{ph} F_{qk} \doteq \sum_1^3 p \sum_1^3 q \sum_1^3 m \sum_1^3 n z_{mn} f_{pm} f_{qn} F_{ph} F_{qk}$$
$$\doteq F_0^2 z_{hk}$$

Also ist:

(8) $$z_{hk} \doteq \sum_1^3 p \sum_1^3 q \gamma_{pq} \cdot \Delta_p / F_p \cdot \Delta_q / F_q \cdot F_{ph} F_{qk}.$$

Die Grössen $z_{hk}$ können also hiernach aus den Indices der Flächen und den gemessenen Winkeln eindeutig bestimmt werden. Die numerische Berechnung geschieht wohl am einfachsten und sichersten nach Schema 1. Der Gang der Rechnung ist aus demselben leicht ersichtlich. Die zehnte Verticalreihe ist nur zur Controlle hinzugefügt, indem jedes Glied in ihr gleich der Summe der sechs in derselben Horizontalreihe stehenden, unmittelbar vorhergehenden Zahlen sein muss (vergl. das Beispiel p. 611).

Will man zu den Axenelementen übergehen, so kann man dieselben aus den z nach (I, 17) berechnen (vergl. das Beispiel p. 615). Man kann jedoch auch die Axenelemente direkt mit den Grössen f und $\gamma$ in Verbindung setzen, ohne die Grössen z, deren Kenntniss für die in §. 2 und §. 3 zu behandelnden Aufgaben allerdings nothwendig ist, zu berechnen. Setzt man zu diesem Zwecke die aus (8) folgenden Werthe der z in (I, 17) ein, so ergiebt sich:

$$a_h a_k c_{hk} \doteq \sum_1^3 p \sum_1^2 q \sum_1^3 m \sum_1^3 n \gamma_{pq} \gamma_{mn} \frac{\Delta_p \Delta_q \Delta_m \Delta_n}{F_p F_q F_m F_n} F_{p,h+1} F_{m,h+2}$$
$$(F_{q,k+1} F_{n,k+2} - F_{q,k+2} F_{n,k+1})$$

$$\doteq \sum_1^3 p \sum_1^3 q \Delta_{pq} \frac{\Delta_{p+1} \Delta_{p+2} \Delta_{q+1} \Delta_{q+2}}{F_{p+1} F_{p+2} F_{q+1} F_{q+2}} F_0^2 f_{ph} f_{qk}$$

(9) $$\doteq \sum_1^3 p \sum_1^3 q \Delta_{pq} \cdot F_p / \Delta_p \cdot F_q / \Delta_q \cdot f_{ph} f_{qk}.$$



Digitized by Google

## Schema 1.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\varphi_{23}$ | $\lg \gamma_{23}$ | $\lg \gamma_{23}^2$ | $\lg \gamma_{31}\gamma_{12}$ | $\gamma_{23}^2$ | $\gamma_{31}\gamma_{12}$ |
| $\varphi_{31}$ | $\lg \gamma_{31}$ | $\lg \gamma_{31}^2$ | $\lg \gamma_{12}\gamma_{23}$ | $\gamma_{31}^2$ | $\gamma_{12}\gamma_{23}$ |
| $\varphi_{12}$ | $\lg \gamma_{12}$ | $\lg \gamma_{12}^2$ | $\lg \gamma_{23}\gamma_{31}$ | $\gamma_{12}^2$ | $\gamma_{23}\gamma_{31}$ |
| $\lg \gamma_{01}$ | $\lg \gamma_{02}$ | $\lg \gamma_{03}$ | | | |
| $\lg \Delta_{11}$ | $\lg \Delta_{12}$ | $\lg \Delta_{13}$ | $\lg \gamma_{01}\Delta_{11}$ | $\lg \gamma_{02}\Delta_{12}$ | $\lg \gamma_{03}\Delta_{13}$ |
| $\lg \Delta_{21}$ | $\lg \Delta_{22}$ | $\lg \Delta_{23}$ | $\lg \gamma_{01}\Delta_{21}$ | $\lg \gamma_{02}\Delta_{22}$ | $\lg \gamma_{03}\Delta_{23}$ |
| $\lg \Delta_{31}$ | $\lg \Delta_{32}$ | $\lg \Delta_{33}$ | $\lg \gamma_{01}\Delta_{31}$ | $\lg \gamma_{02}\Delta_{32}$ | $\lg \gamma_{03}\Delta_{33}$ |
| | | | $f_{01}$ | $f_{02}$ | $f_{03}$ |
| $f_{11}$ | $f_{12}$ | $f_{13}$ | $F_{11}$ | $F_{12}$ | $F_{13}$ |
| $f_{21}$ | $f_{22}$ | $f_{23}$ | $F_{21}$ | $F_{22}$ | $F_{23}$ |
| $f_{31}$ | $f_{32}$ | $f_{33}$ | $F_{31}$ | $F_{32}$ | $F_{33}$ |
| $\lg \Delta_1/F_1$ | $\lg \Delta_1^2/F_1^2$ | $y_{11}$ | $F_{11}^2$ | $F_{12}^2$ | $F_{13}^2$ |
| $\lg \Delta_2/F_2$ | $\lg \Delta_2^2/F_2^2$ | $y_{22}$ | $F_{21}^2$ | $F_{22}^2$ | $F_{23}^2$ |
| $\lg \Delta_3/F_3$ | $\lg \Delta_3^2/F_3^2$ | $y_{33}$ | $F_{31}^2$ | $F_{32}^2$ | $F_{33}^2$ |
| $\lg \Delta_2\Delta_3/F_2F_3$ | $\lg \gamma_{23}\Delta_2\Delta_3/F_2F_3$ | $y_{23}$ | $2F_{21}F_{31}$ | $2F_{22}F_{32}$ | $2F_{23}F_{33}$ |
| $\lg \Delta_3\Delta_1/F_3F_1$ | $\lg \gamma_{31}\Delta_3\Delta_1/F_3F_1$ | $y_{31}$ | $2F_{31}F_{11}$ | $2F_{32}F_{12}$ | $2F_{33}F_{13}$ |
| $\lg \Delta_1\Delta_2/F_1F_2$ | $\lg \gamma_{12}\Delta_1\Delta_2/F_1F_2$ | $y_{12}$ | $2F_{11}F_{21}$ | $2F_{12}F_{22}$ | $2F_{13}F_{23}$ |
| | | | $y_{11}F_{11}^2$ | $y_{11}F_{12}^2$ | $y_{11}F_{13}^2$ |
| | | | $y_{22}F_{21}^2$ | $y_{22}F_{22}^2$ | $y_{22}F_{23}^2$ |
| | | | $y_{33}F_{31}^2$ | $y_{33}F_{32}^2$ | $y_{33}F_{33}^2$ |
| | | | $2y_{23}F_{21}F_{31}$ | $2y_{23}F_{22}F_{32}$ | $2y_{23}F_{23}F_{33}$ |
| | | | $2y_{31}F_{31}F_{11}$ | $2y_{31}F_{32}F_{12}$ | $2y_{31}F_{33}F_{13}$ |
| | | | $2y_{12}F_{11}F_{21}$ | $2y_{12}F_{12}F_{22}$ | $2y_{12}F_{13}F_{23}$ |
| | | | $z_{11}$ | $z_{22}$ | $z_{33}$ |

Hierin ist zur Abkürzung $\gamma_{hk}\Delta_h\Delta_k/F_hF_k = y_{hk}$ gesetzt.

## Beispiel zu

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 115°12′ 00″,4 | 9,6291863 | 9,2583726 | 8,8377094 | 0,1812895 | 0,0688192 |
| 98°33′ 02″,7 | 9,1722683 | 8,3445366 | 9,2946274 | 0,0221074 | 0,1970731 |
| 117°34′ 16″,4 | 9,6654411 | 9,3308822 | 8,8014546 | 0,2142309 | 0,0633074 |
| 9,5476848 | 8,8538060 | 9,7262329 | | | |
| 9,9131304 | 9,7211164 | 9,5387728 | 9,4608152 | 8,5749224 | 9,2650057 |
| 9,7211164 | 9,9902912 | 9,6942542 | 9,2688012 | 8,8440972 | 9,4204871 |
| 9,5387728 | 9,6942542 | 9,8952949 | 9,0864576 | 8,5480602 | 9,6215278 |
| | | | 0 | 0 | 1 |
| 1 | −1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| −1 | −1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 9,7080822 | 9,4161644 | 0,2607140 | 1 | 0 | 1 |
| 9,4140171 | 8,8280342 | 0,0673030 | 1 | 1 | 4 |
| 9,7601880 | 9,5203760 | 0,3314179 | 0 | 0 | 1 |
| 9,1742051 | $\dot{8}$,8033914 | −0,0635904 | 0 | 0 | 4 |
| 9,4682702 | $\dot{8}$,6405385 | −0,0437057 | 0 | 0 | 2 |
| 1,1220993 | $\dot{8}$,7875404 | −0,0613113 | 2 | 0 | 4 |
| | | | 0,2607140 | — | 0,2607140 |
| | | | 0,0673030 | 0,0673030 | 0,2692120 |
| | | | — | — | 0,3314179 |
| | | | — | — | −0,2543616 |
| | | | — | — | −0,0874114 |
| | | | −0,1226226 | — | −0,2452452 |
| | | | 0,2053944 | 0,0673030 | 0,2743257 |

Der Punkt über der Kennziffer deutet an, dass der Logarithmus zu einem negativen Numerus gehört.

Digitized by Google

**(Seite 593.)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\gamma_{23}$<br>$\gamma_{31}$<br>$\gamma_{12}$ | $\Delta_{23}$<br>$\Delta_{31}$<br>$\Delta_{12}$ | $\Delta_{11}$<br>$\Delta_{22}$<br>$\Delta_{33}$ | |
| $\gamma_{01}\Delta_{11}$<br>$\gamma_{01}\Delta_{21}$<br>$\gamma_{01}\Delta_{31}$ | $\gamma_{02}\Delta_{12}$<br>$\gamma_{02}\Delta_{22}$<br>$\gamma_{02}\Delta_{32}$ | $\gamma_{03}\Delta_{13}$<br>$\gamma_{03}\Delta_{23}$<br>$\gamma_{03}\Delta_{33}$ | |
| $F_1$<br>$F_2$<br>$F_3$ | $\Delta_1$<br>$\Delta_2$<br>$\Delta_3$ | $\Delta_1/F_1$<br>$\Delta_2/F_2$<br>$\Delta_3/F_3$ | |
| $2F_{12}F_{13}$<br>$2F_{22}F_{23}$<br>$2F_{32}F_{33}$<br>$2(F_{22}F_{33}+F_{32}F_{23})$<br>$2(F_{32}F_{13}+F_{12}F_{33})$<br>$2(F_{12}F_{23}+F_{22}F_{13})$ | $2F_{13}F_{11}$<br>$2F_{23}F_{21}$<br>$2F_{33}F_{31}$<br>$2(F_{23}F_{31}+F_{33}F_{21})$<br>$2(F_{33}F_{11}+F_{13}F_{31})$<br>$2(F_{13}F_{21}+F_{23}F_{11})$ | $2F_{11}F_{12}$<br>$2F_{21}F_{22}$<br>$2F_{31}F_{32}$<br>$2(F_{21}F_{32}+F_{31}F_{22})$<br>$2(F_{31}F_{12}+F_{12}F_{32})$<br>$2(F_{11}F_{22}+F_{21}F_{12})$ | $(F_{11}+F_{12}+F_{13})^2$<br>$(F_{21}+F_{22}+F_{23})^2$<br>$(F_{31}+F_{32}+F_{33})^2$<br>$2\Sigma_i F_{2i}\Sigma_k F_{3k}$<br>$2\Sigma_i F_{3i}\Sigma_k F_{1k}$<br>$2\Sigma_i F_{1i}\Sigma_k F_{2k}$ |
| $2y_{11}F_{12}F_{13}$<br>$2y_{22}F_{22}F_{23}$<br>$2y_{33}F_{32}F_{33}$<br>$2y_{23}(F_{22}F_{33}+F_{32}F_{23})$<br>$2y_{31}(F_{32}F_{13}+F_{12}F_{33})$<br>$2y_{12}(F_{12}F_{23}+F_{22}F_{13})$ | $2y_{11}F_{13}F_{11}$<br>$2y_{22}F_{23}F_{21}$<br>$2y_{33}F_{33}F_{31}$<br>$2y_{23}(F_{23}F_{31}+F_{33}F_{21})$<br>$2y_{31}(F_{33}F_{11}+F_{13}F_{31})$<br>$2y_{12}(F_{13}F_{21}+F_{23}F_{12})$ | $2y_{11}F_{11}F_{12}$<br>$2y_{22}F_{21}F_{22}$<br>$2y_{33}F_{31}F_{32}$<br>$2y_{23}(F_{21}F_{32}+F_{31}F_{22})$<br>$2y_{31}(F_{31}F_{12}+F_{11}F_{32})$<br>$2y_{12}(F_{11}F_{22}+F_{21}F_{12})$ | $y_{11}(\Sigma_i F_{1i})^2$<br>$y_{22}(\Sigma_i F_{2i})^2$<br>$y_{33}(\Sigma_i F_{3i})^2$<br>$2y_{23}\Sigma_i F_{2i}\Sigma_k F_{3k}$<br>$2y_{31}\Sigma_i F_{3i}\Sigma_k F_{1k}$<br>$2y_{12}\Sigma_i F_{1i}\Sigma_k F_{2k}$ |
| $2z_{23}$<br>$z_{23}$ | $2z_{31}$<br>$z_{31}$ | $2z_{12}$<br>$z_{12}$ | $\Sigma$ |

**Schema 1.**

| | | | |
|---|---|---|---|
| — 0,4257810 | 0,4946002 | 0,8187105 | |
| — 0,1486854 | 0,3457585 | 0,9778926 | |
| — 0,4628509 | 0,5261583 | 0,7857691 | |
| 0,2889450 | 0,0375770 | 0,1840796 | |
| 0,1856954 | 0,0698389 | 0,2633220 | |
| 0,1220274 | 0,0353232 | 0,4183385 | |
| 1 | 0,5106016 | 0,5106016 | |
| 2 | 0,5188563 | 0,2594282 | |
| 1 | 0,5756891 | 0,5756891 | |
| 0 | 2 | 0 | 4 |
| 4 | 4 | 2 | 16 |
| 0 | 0 | 0 | 1 |
| 2 | 2 | 0 | 8 |
| 0 | 2 | 0 | 4 |
| 2 | 6 | 2 | 16 |
| — | 0,5214280 | — | 1,0428560 |
| 0,2692120 | 0,2692120 | 0,1346060 | 1,0768480 |
| — | — | — | 0,3314179 |
| — 0,1271808 | — 0,1271808 | — | — 0,5087232 |
| — | — 0,0874114 | — | — 0,1748228 |
| — 0,1226226 | — 0,3678678 | — 0,1226226 | — 0,9809808 |
| 0,0194086 | 0,2081800 | 0,0119834 | 0,7865951 |
| 0,0097043 | 0,1040900 | 0,0059917 | |



Digitized by Google

Diese Gleichung liefert für $k = h$ die Werthe von $a_h^2$ und dann für $k = h + 1$ die Werthe von $c_{h,\,h+1}$. Die numerische Berechnung geschieht nach einem Schema, das dem Schema 1 analog ist.

In (8) und (9) kann man nach (4) auch $m_{oi}$ statt $F_i$ setzen.

Die Rechnung nach (8) und (9) vereinfacht sich erheblich, wenn man die sechs Winkel zwischen den vier Fundamentalflächen gemessen hat. Es ist dann:

$$\begin{array}{llll} f_{11} = f_{22} = f_{33} = 1. & f_{01} = f_{02} = f_{03} = 1. \\ f_{12} = f_{13} = f_{21} = f_{23} = f_{31} = f_{32} = 0. \\ F_{11} = F_{22} = F_{33} = 1. \\ F_{12} = F_{13} = F_{21} = F_{23} = F_{31} = F_{32} = 0. \\ F_0 = F_1 = F_2 = F_3 = 1. \end{array}$$

$$z_{hk} \doteq \sum_1^3 p \sum_1^3 q \gamma_{pq} \Delta_p \Delta_q F_{ph} F_{qk} \doteq \gamma_{hk} \Delta_h \Delta_k \text{ (vgl. das Beispiel pag. 612)}$$

$$a_h a_k c_{hk} \doteq \sum_1^3 p \sum_1^3 q \Delta_{pq} \cdot {}^1/\Delta_p \cdot {}^1/\Delta_q \cdot f_{ph} f_{qk} \doteq \Delta_{hk} / \Delta_h \Delta_k.$$

Die Ausdrücke (8) und (9) werden unbestimmt, wenn $N_0$ in einer der Zonen $N_1 N_2$, $N_2 N_3$ und $N_3 N_1$ liegt, da dann eine der Determinanten $F_p$ und das entsprechende $\Delta_p$ gleich Null werden. Man wird dadurch zu dem zweiten Fall geführt.

B. Es sind an dem Krystall drei Flächen $N_1 N_2 N_3$ vorhanden, die nicht in einer Zone liegen, und ausserdem in den Zonen $N_2 N_3$ und $N_3 N_1$ je eine Fläche $N_4$ und $N_5$ (Taf. XXI Fig. 3).

Es seien die Winkel $\varphi_{12}$, $\varphi_{23}$, $\varphi_{31}$, $\varphi_{34}$ und $\varphi_{35}$ gemessen. Es sollen die Winkel $\varphi_{34}$, $\varphi_{42}$, $\varphi_{35}$, $\varphi_{51}$ als positiv bezeichnet werden, wenn man von $N_3$ in derselben Richtung zu $N_4$ resp. $N_5$, und von $N_4$ resp. $N_5$ in derselben Richtung zu $N_2$ resp. $N_1$ gelangt, in welcher man von $N_3$ zu $N_2$ resp. $N_1$ gelangt. Dann ist $\varphi_{42} = \varphi_{23} - \varphi_{34}$ und $\varphi_{51} = \varphi_{31} - \varphi_{35}$.

Die Indices von $N_1 N_2 N_3$ sind willkürlich wählbar; jedoch muss ihre Determinante von Null verschieden sein. Schreibt man die Indices von $N_4$ und $N_5$ in der Form:

(10)
$$\begin{aligned} f_{4i} &\doteq m_{42} f_{2i} + m_{43} f_{3i} \\ f_{5i} &\doteq m_{51} f_{1i} + m_{53} f_{3i}, \end{aligned}$$

so sind die m ebenfalls beliebige ganze Zahlen, deren Vorzeichen jedoch nach (I, 13) bestimmt werden muss.

Digitized by Google

Zur Berechnung der Axenelemente wird eine Hülfsfläche $N_0$ eingeführt, die in den beiden Zonen $N_1 N_4$ und $N_2 N_5$ liegt. Diese liegt dann in keiner der Zonen $N_1 N_2$, $N_2 N_3$ und $N_3 N_1$.

Die Indices dieser Fläche ergeben sich aus den Determinanten:

$$\begin{vmatrix} f_{01} & f_{02} & f_{03} \\ f_{11} & f_{12} & f_{13} \\ f_{41} & f_{42} & f_{43} \end{vmatrix} = 0, \qquad \begin{vmatrix} f_{01} & f_{02} & f_{03} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ f_{51} & f_{52} & f_{53} \end{vmatrix} = 0$$

und den Gleichungen (10) zu:

$$f_{0i} \doteq m_{43} m_{51} f_{1i} + m_{42} m_{53} f_{2i} + m_{43} m_{53} f_{3i}.$$

Es ist also:

$$\begin{aligned} F_1 &= \sum_1^3 i\, f_{0i} F_{1i} \doteq m_{43} m_{51} F_0 \\ F_2 &= \sum_1^3 i\, f_{0i} F_{2i} \doteq m_{42} m_{53} F_0 \\ F_3 &= \sum_1^3 i\, f_{0i} F_{3i} \doteq m_{43} m_{53} F_0. \end{aligned} \tag{11}$$

Bezeichnet man $\sin \varphi_{pq}$ mit $\sigma_{pq}$, so ist:

$$\begin{aligned} \sigma_{23}\gamma_{41} &= \sigma_{23}\gamma_{13}\gamma_{34} + \sigma_{34}(\gamma_{12} - \gamma_{13}\gamma_{23}) = \sigma_{34}\gamma_{21} + \sigma_{24}\gamma_{31} \\ \sigma_{23}\gamma_{42} &= \sigma_{34}\gamma_{22} + \sigma_{24}\gamma_{32} \\ \sigma_{23}\gamma_{43} &= \sigma_{34}\gamma_{23} + \sigma_{24}\gamma_{33}. \end{aligned}$$

Es ist also:

$$\sigma_{23}\gamma_{4i} = \sigma_{34}\gamma_{2i} + \sigma_{24}\gamma_{3i}.$$

(12) Analog folgt:

$$\sigma_{13}\gamma_{5i} = \sigma_{35}\gamma_{1i} + \sigma_{15}\gamma_{3i}.$$

Da ferner nach (I, 14) auch:

$$\begin{vmatrix} \gamma_{01} & \gamma_{02} & \gamma_{03} \\ \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} \\ \gamma_{41} & \gamma_{42} & \gamma_{43} \end{vmatrix} = 0, \qquad \begin{vmatrix} \gamma_{01} & \gamma_{02} & \gamma_{03} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} \\ \gamma_{51} & \gamma_{52} & \gamma_{52} \end{vmatrix} = 0,$$

so ergiebt sich:

$$\begin{aligned} \gamma_{0i} &\doteq \sigma_{24}\sigma_{35}\gamma_{1i} + \sigma_{34}\sigma_{15}\gamma_{2i} + \sigma_{24}\sigma_{15}\gamma_{3i} \\ \Delta_1 &= \sum_1^3 i\, \gamma_{0i} \Delta_{1i} \doteq \sigma_{24}\sigma_{35}\Delta_0 \\ \Delta_2 &= \sum_1^3 i\, \gamma_{0i} \Delta_{2i} \doteq \sigma_{34}\sigma_{15}\Delta_0 \\ \Delta_3 &= \sum_1^3 i\, \gamma_{0i} \Delta_{3i} \doteq \sigma_{24}\sigma_{15}\Delta_0. \end{aligned} \tag{13}$$

Die Gleichungen (8) und (9) enthalten also auch für diesen zweiten Fall die Lösung, wenn man darin nach (11) und (13) setzt:

Digitized by Google

$$(14)\qquad \begin{aligned} F_1 &= m_{43}m_{51} & \Delta_1 &= \sigma_{24}\sigma_{35} \\ F_2 &= m_{42}m_{53} & \Delta_2 &= \sigma_{34}\sigma_{15} \\ F_3 &= m_{43}m_{53} & \Delta_3 &= \sigma_{24}\sigma_{15}. \end{aligned}$$

Sind die Indices f schon früher für die Flächen des Krystalles festgesetzt, so kann man die m durch Auflösung je zweier der Gleichungen (10) berechnen (vergl. das Beispiel p. 613).

## §. 2. Bestimmung der Indices einer Fläche.

Nachdem die Axenelemente eines Krystalles berechnet sind, handelt es sich darum, die Bedeutung aller an demselben beobachteten Flächen festzustellen. Es müssen also die Indices derselben berechnet werden, wobei die Grössen $a_h$, $c_{h,\,h+1}$, $z_{hk}$ und die Indices der Flächen, von denen man bei der Berechnung ausgeht, als bekannt anzusehen sind. Die Indices einer Fläche repräsentiren zwei Unbekannte, so dass man also zwei beobachtete Grössen kennen muss. Danach lassen sich drei Fälle unterscheiden:

A. Es sind zwei Zonen bekannt, in denen $N_x$ liegt.

B. Es ist eine Zone, in der $N_x$ liegt, bekannt und wenigstens ein Winkel gegen eine bekannte Fläche gemessen [1].

C. Es sind wenigstens zwei Winkel gegen bekannte Flächen gemessen.

A. $N_x$ liegt in den Zonen $N_1\,N_2$ und $N_3\,N_4$.

Da $N_x$ in der Zone $N_1\,N_2$ liegt, ist nach (I, 12):

$$f_{xi} = m_{x1}f_{1i} + m_{x2}f_{2i}.$$

Da $N_x$ auch in der Zone $N_3\,N_4$ liegt, ist nach (I, 11):

$$\begin{vmatrix} m_{x1}f_{11} + m_{x2}f_{21} & m_{x1}f_{12} + m_{x2}f_{22} & m_{x1}f_{13} + m_{x2}f_{23} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} \\ f_{41} & f_{42} & f_{43} \end{vmatrix} = 0$$

[1] Eine Zweitheilung dieses Falles, wie sie M. Websky l. c. p. 348 und „Anwendung der Linearprojection zum Berechnen der Krystalle" G. Rose's Elem. der Kryst., Berlin 1887, Bd. III, p. 208 vornimmt, ist nicht nothwendig. Auch in dem von M. Websky abgesonderten Fall, dass der gemessene Winkel in der bekannten Zone liegt, muss noch die Richtung des Winkels oder was auf dasselbe herauskommt, noch ein zweiter Winkel von $N_x$ gegen eine Fläche derselben Zone bekannt sein, damit die Bestimmung eindeutig ist. Man kommt bei diesem Spezialfall also mit Messungen in einer Zone aus. Indessen ergeben sich die hierfür geltenden Formeln unmittelbar aus dem hier behandelten Fall B.

Digitized by Google

oder:

$$m_{x1}\begin{vmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} \\ f_{41} & f_{42} & f_{43} \end{vmatrix} + m_{x2}\begin{vmatrix} f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} \\ f_{41} & f_{42} & f_{43} \end{vmatrix} = 0$$

Hierdurch ist also das Verhältniss $m_{x1} : m_{x2}$ und damit $f_{xi}$ bestimmt. Der Fall, dass beide Determinanten gleich Null sind, dass also $N_1$ und $N_2$ in der Zone $N_3 N_4$ liegen, ist natürlich auszuschliessen.

B. $N_x$ liegt in der Zone $N_1 N_2$ und bildet mit $N_3$ den gemessenen Winkel $\varphi_{x3}$. ($N_3$ kann in der Zone $N_1 N_2$ oder ausserhalb derselben liegen.)

Es ist wieder:

$$f_{xi} = m_{x1} f_{1i} + m_{x2} f_{2i}.$$

Hierzu kommt die Gleichung:

$$\gamma_{x3} = S_{x3} / \sqrt{S_{xx} S_{33}}$$

Setzt man hierin für $f_{xi}$ seinen Werth, so ergiebt sich:

$$\gamma_{x3}^2 S_{33} \sum_1^3 h \sum_1^3 k z_{hk} (m_{x1} f_{1h} + m_{x2} f_{2h})(m_{x1} f_{1k} + m_{x2} f_{2k})$$
$$= \left[\sum_1^3 h \sum_1^3 k z_{hk} (m_{x1} f_{1h} + m_{x2} f_{2h}) f_{3k}\right]^2$$

$$\gamma_{x3}^2 S_{33} (m_{x1}^2 S_{11} + 2 m_{x1} m_{x2} S_{12} + m_{x2}^2 S_{22}) = (m_{x1} S_{13} + m_{z2} S_{23})^2.$$

Dividirt man diese Gleichung durch $S_{33}$ und ordnet nach Potenzen von $m_{x1}$, so erhält man:

$$m_{x1}^2 S_{11} (\gamma_{x3}^2 - \gamma_{13}^2) + 2 m_{x1} m_{x2} \sqrt{S_{11} S_{22}} (\gamma_{x3}^2 \gamma_{12} - \gamma_{31} \gamma_{32}) + m_{x2}^2 S_{22}$$
$$(\gamma_{x3}^2 - \gamma_{23}^2) = 0.$$

Was die Berechnung der Grössen S anbetrifft, so sei auf §. 3 verwiesen, wo dieselben bei Berechnung der Axenelemente benutzt werden. Man kann sich das Schema 2 schon vorher anlegen und hier, so weit es gebraucht wird, ausfüllen.

Es ergiebt sich also eine quadratische Gleichung für das Verhältniss $m_{x1} : m_{x2}$ und man muss dann nach dem Anblick des Krystalles entscheiden, welcher Werth der richtige ist. Sehr leicht ist dieses, wenn beide Werthe entgegengesetztes Vorzeichen haben.

Eindeutig lösen kann man die Aufgabe indessen, wenn noch der Winkel von $N_x$ gegen eine vierte Fläche $N_4$ ge-

Digitized by Google

messen ist. Man hat dann ausser den obigen Gleichungen noch folgende:

$$\gamma_{x4} = S_{x4}/\sqrt{S_{xx}S_{44}}$$

Es folgt also:

$$\gamma_{x3}\sqrt{S_{33}}S_{x4} = \gamma_{x4}\sqrt{S_{44}}S_{x3}$$

oder:

$$\gamma_{x3}\sqrt{S_{33}}(m_{x1}S_{14} + m_{x2}S_{24}) = \gamma_{x4}\sqrt{S_{44}}(m_{x1}S_{13} + m_{x2}S_{23}).$$

Dividirt man diese Gleichung durch $\sqrt{S_{33}S_{44}}$ und ordnet, so ergiebt sich:

$$m_{x1}\sqrt{S_{11}}(\gamma_{x3}\gamma_{14} - \gamma_{x4}\gamma_{13}) + m_{x2}\sqrt{S_{22}}(\gamma_{x3}\gamma_{24} - \gamma_{x4}\gamma_{23}) = 0.$$

Hierdurch ist $m_{x1} : m_{x2}$ eindeutig bestimmt.

C. Es sind die Winkel von $N_x$ gegen zwei beliebige bekannte Flächen gemessen.

Aus:

$$\gamma_{x1} = S_{x1}/\sqrt{S_{xx}S_{11}}$$
$$\gamma_{x2} = S_{x2}/\sqrt{S_{xx}S_{22}}$$

folgt durch Division eine homogene lineare Gleichung für die $f_{xi}$. Verbindet man diese mit einer der obigen Gleichungen, so erhält man eine quadratische Gleichung für das Verhältniss zweier der Grössen $f_{xi}$; die dritte von diesen ist dann ebenfalls bestimmt.

Die Zweideutigkeit fällt fort, wenn man noch den Winkel von $N_x$ gegen eine dritte bekannte Fläche $N_3$ hinzuzieht. Ist Winkel $\varphi_{x3}$ nicht gegeben, so kann man ihn aus $\varphi_{12}$, $\varphi_{23}$, $\varphi_{31}$, $\varphi_{x1}$, $\varphi_{x2}$ nach (1) berechnen.

Stellt man nun die Indices von $N_x$ in der Form dar:

$$f_{xi} \doteq m_{x1}f_{1i} + m_{x2}f_{2i} + m_{x3}f_{3i},$$

so kann man über das Vorzeichen der m aus dem Anblick des Krystalles entscheiden und findet die absoluten Werthe dieser Grössen nach Gleichung (4) und (6), wenn man darin den Index 0 durch den Index x ersetzt. Es ist demnach:

$$m_{xh} \doteq F_h \doteq \Delta_h/\sqrt{S_{hh}}.$$

In dem Falle A ergeben sich die m als rationale Zahlen; dagegen werden sie in den Fällen B und C meist irrational

Digitized by Google

sein, da die Beobachtungen mit Fehlern behaftet sind. Man wird dann also diejenigen rationalen Brüche aufsuchen müssen, die den gefundenen Werthen so nahe wie möglich kommen, so dass die Abweichung unter dem wahrscheinlichen Fehler bleibt. Dieses geschieht durch Entwickelung der erhaltenen Decimalbrüche in Kettenbrüche. Die Berücksichtigung des wahrscheinlichen Fehlers wird meistens nicht nöthig sein, da in der Mehrzahl der Fälle ein überwiegend grosser Nenner auftreten wird, vor welchem man dann abbrechen kann.

## §. 3. Berechnung der Axenelemente mit Berücksichtigung sämmtlicher Winkelbeobachtungen.

Nachdem man nach den in §. 1 angegebenen Methoden aus einer Combination von Winkeln, welche die Axenelemente zu berechnen gestattet, dieses gethan und dann nach §. 2 die Indices aller beobachteten Flächen bestimmt hat, kann man aus diesen Grössen die Winkel zweier Flächen $N_p$ und $N_q$ nach der Formel:

$$\gamma_{pq} = S_{pq}/\sqrt{S_{pp}\,S_{qq}}$$

berechnen. Führt man diese Berechnung für alle gemessenen Winkel aus, so werden sich Differenzen zwischen den beobachteten und berechneten Werthen ergeben. Es handelt sich nun darum, nach der Methode der kleinsten Quadrate die wahrscheinlichsten Werthe der Axenelemente zu finden, d. h. diejenigen Werthe, für welche die Summe der mit den zugehörigen Gewichten p multiplicirten Quadrate der Differenzen zwischen den beobachteten und berechneten Winkeln ein Minimum ist[1].

[1] Diese Methode zur Berechnung der Axenelemente aus einer Überzahl von Beobachtungen ist wohl zuerst von F. E. Neumann in seiner Abhandlung „Das Krystallsystem des Albites und der ihm verwandten Gattungen“ (Abhandl. Berlin. Akad. a. d. J. 1830, p. 189—230) vorgeschlagen und später namentlich von A. Schrauf (Lehrb. d. physik. Mineralogie, 1866, Bd. I, p. 223—228) und A. Brezina (Methodik der Krystallbestimmung, 1884, p. 223—252) ausgeführt worden. Was aber die praktische Ausführung der Rechnung anbetrifft, so unterscheidet sich die in dieser Arbeit vorgeschlagene Methode wesentlich von den bisher angewendeten (siehe die Bemerkung p. 602).

J. Beckenkamp schlägt bei Berechnung der Axenelemente des Anorthits (Zeitschr. f. Kryst. etc., 1881, V., 463—466) einen andern Weg ein,

Digitized by Google

Die Bestimmung des Gewichtes p eines beobachteten Winkels bildet bei der Krystallberechnung eine Hauptschwierigkeit und enthält immer eine gewisse Willkür. Man müsste bei derselben einerseits die Güte der Reflexe, welche die Krystallflächen liefern, andererseits die Abweichungen, welche sich bei Messungen desselben Winkels an verschiedenen Krystallen ergeben, in Rechnung ziehen. Was den zweiten Punkt anbetrifft, so würde der reciproke Werth der Quadratwurzel aus dem wahrscheinlichen Fehler einen brauchbaren Werth für das Gewicht liefern; aber in Bezug auf den ersten Punkt kann man wohl kaum einen richtigen Werth für p erhalten, indem man auch bei schlechten Reflexen immer auf denselben Punkt des Reflexes einzustellen pflegt und dadurch ein zu grosses Gewicht erhalten würde. Es dürfte sich daher empfehlen, zur Berechnung der Axenelemente nur die Winkelwerthe heranzuziehen, die zwischen Flächen liegen, welche gute Reflexe liefern, und auch nur solche Winkel zu benutzen, bei denen die Schwankungen bei verschiedenen Krystallen nicht zu gross sind, indem man andernfalls nicht sicher ist, ob man es wirklich mit identischen Flächen zu thun hat. Die Winkelmessungen zwischen Flächen, die schlechte Reflexe liefern, könnte man dann benutzen, um nach der Methode der kleinsten Quadrate die Indices der betreffenden Flächen zu berechnen. Benutzt man nun zur Bestimmung der Axenelemente nur die guten Messungen, so kann man wohl die Gewichte aller Beobachtungen gleich annehmen und also p gleich Eins setzen. Der Allgemeinheit wegen soll indessen im Folgenden die Bezeichnung p beibehalten werden.

Für die Rechnung ist es ferner am vortheilhaftesten[1],

indem er die drei Bedingungsgleichungen zwischen den acht beobachteten Winkeln aufstellt und mit ihrer Berücksichtigung nach der Methode der kleinsten Quadrate fünf Winkel berechnet, aus welchen dann die Axenelemente abgeleitet werden. Diese Methode begegnet bei ihrer Verallgemeinerung gewissen Schwierigkeiten, indem einerseits die Aufstellung der Bedingungsgleichungen nur möglich ist, wenn sämmtliche Winkel zwischen den vorhandenen Flächen gemessen sind, und andererseits (n—5) lineare Gleichungen mit (n—5) Unbekannten aufzulösen sind, worin n die Zahl der Beobachtungen ist. Ist diese Zahl gross, so wird die numerische Auflösung der linearen Gleichungen sehr unbequem.

[1] A. Schrauf hat a. a. O. die Differentialquotienten der Winkel nach den Axenelementen berechnet und gelangt dabei zu sehr complizirten Glei-

Digitized by Google

wenn man nicht die Grössen $a_h$ und $c_{h,\,h+1}$, sondern die Grössen $z_{hk}$ als die zu bestimmenden Constanten betrachtet, indem man dann sechs gleichartige Unbekannte hat, wodurch die Rechnung symmetrischer wird. Da es nur auf die Verhältnisse dieser sechs Grössen ankommt, kann man für dieselben noch eine Bedingungsgleichung hinzufügen, z. B. die, dass eine der Grössen einen beliebigen Werth hat. Die Grössen $z_{hk}$ ergeben sich aus (8) ebenso einfach, wie die $a_h$ und $c_{h,\,h+1}$ aus (9). Man kann dieselben daher direkt berechnen.

Es seien nun $z_{hk}^0$ die aus fünf Winkeln gefundenen Näherungswerthe, $dz_{hk}$ die zu berechnenden Correctionen, $\varphi_{pq}^0$ der mit den Werthen $z_{hk}^0$ berechnete Winkelwerth, $\varphi_{pq}$ der mit den Werthen $(z_{hk}^0 + dz_{hk})$ berechnete Winkelwerth, $\varphi_{pq}'$ der beobachtete Winkelwerth und $p_{pq}$ das Gewicht der betreffenden Beobachtung. Bezeichnet man ferner die Differentialquotienten $(\partial\varphi_{pq}/\partial z_{hk})^0$ mit $Q_{hk}$, so ist nach dem Taylor'schen Lehrsatz:

(15) $$\varphi_{pq} = \varphi_{pq}^0 + Q_{11}\,dz_{11} + Q_{22}\,dz_{22} + Q_{33}\,dz_{33} + Q_{23}\,dz_{23} + Q_{31}\,dz_{31} + Q_{12}\,dz_{12}.$$

Die Grössen Q findet man durch Differentiation der Gleichung:

$$\cos\varphi_{pq} = S_{pq}/\sqrt{S_{pp}\,S_{qq}}.$$

Es ergiebt sich so:

$$-\sin\varphi_{pq}\,d\varphi_{pq} = \left(\frac{dS_{pq}}{S_{pq}} - \frac{1}{2}\,\frac{dS_{pp}}{S_{pp}} - \frac{1}{2}\,\frac{dS_{qq}}{S_{qq}}\right)\cos\varphi_{pq}.$$

$$d\varphi_{pq} = \frac{\operatorname{cotg}\varphi_{pq}}{2}\left(\frac{dS_{pp}}{S_{pp}} + \frac{dS_{qq}}{S_{qq}} - 2\,\frac{dS_{pq}}{S_{pq}}\right).$$

$$dS_{pq} = f_{p1}f_{q1}\,dz_{11} + f_{p2}f_{q2}\,dz_{22} + f_{p3}f_{q3}\,dz_{33} + (f_{p2}f_{q3} + f_{p3}f_{q2})\,dz_{23} + (f_{p3}f_{q1} + f_{p1}f_{q3})\,dz_{31} + (f_{p1}f_{q2} + f_{p2}f_{q1})\,dz_{12}.$$

---

chungen. Da die Rechnung nach diesen zu langwierig werden würde, schlägt A. Brezina a. a. O. den von V. von Lang vorgeschlagenen Weg einer empirischen Berechnung der Differentialquotienten ein, indem er den Axenelementen willkürliche kleine Änderungen hinzufügt, mit den veränderten Elementen die Winkel berechnet und die Änderung des Winkels durch die Änderung des Elementes dividirt. Dieser Weg verkürzt zwar die Rechnung bedeutend: indessen überzeugt man sich leicht durch Vergleich des Schemas, welches A. Brezina giebt, mit Schema 2, dass die in dieser Arbeit vorgeschlagene Einführung der Grössen z die Rechnung mindestens um die Hälfte abkürzt. Ein weiterer Vortheil, den man durch dieselbe erreicht, ist der geringe Gebrauch der Logarithmentafel.

Digitized by Google

Setzt man diese Werthe ein, so erhält man:

$$Q_{hh} = \frac{\cotg \varphi_{pq}^{0}}{2}\left(\frac{f_{ph}^{2}}{S_{pp}^{0}} + \frac{f_{qh}^{0}}{S_{qq}^{0}} - \frac{2 f_{ph} f_{qh}}{S_{pq}^{0}}\right)$$

$$Q_{hh+1} = \cotg \varphi_{pq}^{0}\left(\frac{f_{ph} f_{ph+1}}{S_{pp}^{0}} + \frac{f_{qh} f_{qh+1}}{S_{qq}^{0}} - \frac{f_{ph} f_{qh+1} + f_{qh} f_{ph+1}}{S_{pq}^{0}}\right)$$

Es sollen nun die Grössen $dz_{hk}$ so bestimmt werden, dass

$$\Sigma p_{mn} (\varphi_{mn}' - \varphi_{mn})^2$$
$$= \Sigma p_{mn} (\varphi_{mn}' - \varphi_{mn}^{0} - Q_{11} dz_{11} - Q_{22} dz_{22} - Q_{33} dz_{33} - Q_{23} dz_{23} - Q_{31} dz_{31} - Q_{12} dz_{12})^2$$

ein Minimum wird, wobei man noch eine der Grössen $dz_{hk}$ nach p. 603 gleich Null setzen kann (vergl. d. Beisp. p. 614).

Die Aufstellung der Normalgleichungen und ihre Auflösung nach den Unbekannten $dz_{hk}$ geschieht nach den Regeln, welche in den Lehrbüchern über die Methode der kleinsten Quadrate entwickelt werden. Es erübrigt hier nur noch, den Weg anzugeben, welchen man einschlagen muss, um die Werthe von $\varphi_{pq}^{0}$ und $Q_{hk}$ zu berechnen. Am einfachsten dürfte dieses wohl nach Schema 2 geschehen. In diesem ist die vierte und neunte Horizontalreihe und die siebente Vertikalreihe nur der Controlle wegen hinzugefügt. Die letztere muss (mit Ausnahme der beiden Logarithmen) immer gleich der Summe der in derselben Horizontalreihe stehenden Ziffern sein und die in der vierten und neunten Horizontalreihe stehenden Zahlen müssen gleich der Summe der drei darüber stehenden Zahlen sein.

Man berechnet zunächst die aus den f gebildeten Grössen, schreibt die $z_{hk}^{0}$ darunter und multiplicirt sie mit den darüber stehenden ganzen Zahlen. Die so entstandenen Horizontalreihen addirt man und erhält die $S_{pp}$, $S_{qq}$ und $2\,S_{pq}$. Hieraus werden die reciproken Werthe berechnet und neben die drei ersten Horizontalreihen geschrieben. Jede dieser Grössen wird mit den vorher stehenden ganzen Zahlen multiplicirt und die entstehenden Producte in die 10., 11. und 12. Horizontalreihe gesetzt. Hierauf werden die Zahlen der 12. Reihe von der Summe der darüber stehenden Zahlen der 10. und 11. Reihe subtrahirt und von den so gefundenen Grössen D der Logarithmus aufgeschlagen. Aus den in der 9. Verticalreihe stehenden Grössen $l_g\,S_{pp}^{0}$, $l_g\,S_{qq}^{0}$ und $l_g\,S_{pq}^{0}$

Digitized by Google

ist $l_g \cos \varphi_{pq}{}^0$, $\varphi_{pq}{}^0$, $l_g (\text{cotg } \varphi_{pq}{}^0 . \sqrt{p_{pq}}/2)$ berechnet. Dieser letztere Logarithmus wird zu $l_g D$ addirt, wodurch man $l_g Q$ erhält. Diese Art der Berechnung erfordert den Gebrauch der Logarithmentafel nur in geringem Masse und liefert die Winkel $\varphi_{pq}{}^0$ und ihre Differentialquotienten wohl am einfachsten (vergl. das Beispiel zu Schema 2).

Will man nach Berechnung der Grössen $dz_{hk}$ auch den Werth von $\varphi_{pq}$ bestimmen, so kann man noch zu Schema 2 die drei letzten Reihen hinzufügen, welche $l_g dz_{hk}$, $l_g Q_{hk} dz_{hk}$, $Q_{hk} dz_{hk}$ enthalten. Die Summe der Glieder der letzten Reihe liefert nach Gleichung (15) den Werth von $\varphi_{pq} - \varphi_{pq}{}^0$. Verwandelt man diesen in Bogenminuten und -Secunden und addirt ihn dann zu $\varphi_{pq}{}^0$, so erhält man $\varphi_{pq}$.

## §. 4. Transformation der Indices und der Axenelemente.

Stellt es sich im Laufe der Rechnung heraus, dass gewisse Flächen andere Indices erhalten, als die, welche sie nach einer bereits von anderen Autoren eingeführten Symbolisirung haben sollten, und will man dann die Übereinstimmung herstellen, oder erscheint es aus anderen Gründen wünschenswerth, dass gewisse Flächen andere Symbole erhalten, so muss man eine Transformation der Indices ausführen, wodurch auch die Grössen a, c und z geändert werden. Da der Zusammenhang zwischen den alten und neuen Indices eindeutig und umkehrbar sein muss, ist die Transformation eine lineare.

Sollen nun vier Flächen, von denen nicht je drei in einer Zone liegen und welche die Indices $\lambda_{1i}$, $\lambda_{2i}$, $\lambda_{3i}$ und $\lambda_{0i}$ haben, durch die Transformation der Reihe nach die Indices $l_{1i}$, $l_{2i}$, $l_{3i}$ und $l_{0i}$ erhalten, so müssen die Transformationsgleichungen die Form:

(16) $$P_p l_{pi} = \Sigma_k r_{ki} \lambda_{pk}$$

haben. Diese Gleichung repräsentirt 12 Gleichungen für $p = 1, 2, 3, 0$ und $i = 1, 2, 3$. Aus denselben lassen sich die Verhältnisse der 13 Unbekannten $P_p$ ($p = 0, 1, 2, 3$) und $r_{ki}$ ($i, k = 1, 2, 3$) bestimmen. Da aber die $l_{pi}$ selbst nur bis auf einen constanten Factor $P_p'$ bestimmt sind, so handelt

Digitized by Google

$f_1\ f_2\ f_3$
$g_1\ g_2\ g_3$ $\varphi_{pq}'$ **Schema 2.**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $f_1^2$<br>$g_1^2$<br>$2f_1 g_1$<br>$(f_1+g_1)^2$ | $f_2^2$<br>$g_2^2$<br>$2f_2 g_2$<br>$(f_2+g_2)^2$ | $f_3^2$<br>$g_3^2$<br>$2f_3 g_3$<br>$(f_3+g_3)^2$ | $2f_2 f_3$<br>$2g_2 g_3$<br>$2(f_2 g_3 + f_3 g_2)$<br>$2(f_2+g_2)(f_3+g_3)$ | $2f_3 f_1$<br>$2g_3 g_1$<br>$2(f_3 g_1 + f_1 g_3)$<br>$2(f_3+g_3)(f_1+g_1)$ |
| $z_{11}^0$ | $z_{22}^0$ | $z_{33}^0$ | $z_{23}^0$ | $z_{31}^0$ |
| $z_{11}^0 f_1^2$<br>$z_{11}^0 g_1^2$<br>$2z_{11}^0 f_1 g_1$<br>$z_{11}^0 (f_1+g_1)^2$ | $z_{22}^0 f_2^2$<br>$z_{22}^0 g_2^2$<br>$2z_{22}^0 f_2 g_2$<br>$z_{22}^0 (f_2+g_2)^2$ | $z_{33}^0 f_3^2$<br>$z_{33}^0 g_3^2$<br>$2z_{33}^0 f_3 g_3$<br>$z_{33}^0 (f_3+g_3)^2$ | $2z_{23}^0 f_2 f_3$<br>$2z_{23}^0 g_2 g_3$<br>$2z_{23}^0 (f_2 g_3 + f_3 g_2)$<br>$z_{23}^0 (f_2+g_2)(f_3+g_3)$ | $2z_{31}^0 f_3 f_1$<br>$2z_{31}^0 g_3 g_1$<br>$2z_{31}^0 (f_3 g_1 + f_1 g_3)$<br>$2z_{31}^0 (f_3+g_3)(f_1+g_1)$ |
| $f_1^2/S_{pp}^0$<br>$g_1^2/S_{qq}^0$<br>$2f_1 g_1/S_{pq}^0$ | $f_2^2/S_{pp}^0$<br>$g_2^2/S_{qq}^0$<br>$2f_2 g_2/S_{pq}^0$ | $f_3^2/S_{pp}^0$<br>$g_3^2/S_{qq}^0$<br>$2f_3 g_3/S_{pq}^0$ | $2f_2 f_3/S_{pp}^0$<br>$2g_2 g_3/S_{qq}^0$<br>$2(f_2 g_3 + f_3 g_2)/S_{pq}^0$ | $2f_3 f_1/S_{pp}^0$<br>$2g_3 g_1/S_{qq}^0$<br>$2(f_3 g_1 + f_1 g_3)/S_{pq}^0$ |
| $D_{11}$<br>$\lg D_{11}$<br>$\lg Q_{11}\sqrt{p_{pq}}$<br>$Q_{11}\sqrt{p_{pq}}$ | $D_{22}$<br>$\lg D_{22}$<br>$\lg Q_{22}\sqrt{p_{pq}}$<br>$Q_{22}\sqrt{p_{pq}}$ | $D_{33}$<br>$\lg D_{33}$<br>$\lg Q_{33}\sqrt{p_{pq}}$<br>$Q_{33}\sqrt{p_{pq}}$ | $D_{23}$<br>$\lg D_{23}$<br>$\lg Q_{23}\sqrt{p_{pq}}$<br>$Q_{23}\sqrt{p_{pq}}$ | $D_{31}$<br>$\lg D_{31}$<br>$\lg Q_{31}\sqrt{p_{pq}}$<br>$Q_{31}\sqrt{p_{pq}}$ |
| $\lg dz_{11}$<br>$\lg Q_{11}\, dz_{11}$<br>$Q_{11}\, dz_{11}$ | $\lg z_{22}$<br>$\lg Q_{22}\, dz_{22}$<br>$Q_{22}\, dz_{22}$ | $\lg dz_{33}$<br>$\lg Q_{33}\, dz_{33}$<br>$Q_{33}\, dz_{33}$ | $\lg dz_{23}$<br>$\lg Q_{23}\, dz_{23}$<br>$Q_{23}\, dz_{23}$ | $\lg dz_{31}$<br>$\lg Q_{31}\, dz_{31}$<br>$Q_{31}\, dz_{31}$ |

Hierin ist $f_{pl} = f_l$, $f_{ql} = g_l$ gesetzt.

$1\bar{1}0$
$\bar{1}11$ $98^\circ 33' 02'',7$ **Beispiel zu**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | — 2 | — 2 |
| — 2 | 2 | 0 | — 2 | 2 |
| 0 | 4 | 1 | — 4 | 0 |
| 20,539 | 6,730 | 27,433 | 0,970 | 10,409 |
| 20,539 | 6,730 | — | — | — |
| 20,539 | 6,730 | 27,433 | — 1,940 | — 20,818 |
| — 41,078 | 13,460 | — | — 1,940 | 20,818 |
| — | 26,920 | 27,433 | — 3,880 | — |
| 0,038357 | 0,038357 | — | — | — |
| 0,030173 | 0,030173 | 0,030173 | — 0,060346 | — 0,060346 |
| 0,457666 | — 0,457666 | — | 0,457666 | — 0,457666 |
| — 0,389136 | 0,526196 | 0,030173 | — 0,518012 | 0,397320 |
| 9,59010 | 9,72115 | 8,47962 | 9,71434 | 9,59914 |
| 8,46614 | 8,59719 | 7,35566 | 8,59038 | 8,47518 |
| 0,02925 | — 0,03955 | — 0,00227 | 0,03894 | — 0,02987 |
| 2,12450 | — | 2,61909 | 2,08636 | 0,78533 |
| 0,59064 | — | 9,97475 | 0,67674 | 9,26051 |
| — 3,896 | — | 0,944 | 4,760 | 0,182 |

Digitized by Google

(Seite 604.)

| | | | |
|---|---|---|---|
| $2f_1 f_2$ | $(\Sigma f_i)^2$ | $1/S_{pp}^0$ | $\lg 1/S_{pp}^0$ |
| $2g_1 g_2$ | $(\Sigma g_i)^2$ | $1/S_{qq0}$ | $\lg 1/S_{qq}^0$ |
| $2(f_1 g_2 + f_2 g_1)$ | $2\Sigma f_i \Sigma g_k$ | $1/S_{pq}^0$ | $\lg 1/S_{pq}^0$ |
| $2(f_1 + g_1)(f_2 + g_2)$ | $(\Sigma f_i + \Sigma g_i)^2$ | | |
| $z_{12}^0$ | | | |
| $2z_{12}^0 f_1 f_2$ | | $S_{pp}^0$ | $\lg S_{pp}^0$ |
| $2z_{12}^0 g_1 g_2$ | | $S_{qq}^0$ | $\lg S_{qq}^0$ |
| $2z_{12}^0(f_1 g_2 + f_2 g_1)$ | | $2S_{pq}^0$ | $\lg S_{pq}^0$ |
| $2z_{12}^0(f_1 + g_1)(f_2 + g_2)$ | $S_{pp}^0 + S_{qq}^0 + 2S_{pq}^0$ | | $\lg \sqrt{S_{pp}^0 S_{qq}^0}$ |
| $2f_1 f_2/S_{pp}^0$ | $(\Sigma f_i)^2/S_{pp}^0$ | $\lg \cos \varphi_{pq}^0$ | $\lg p_{pq}$ |
| $2g_1 g_2/S_{qq}^0$ | $(\Sigma g_i)^2/S_{qq}^0$ | $\varphi_{pq}^0$ | $\varphi_{pq}' - \varphi_{pq}^0$ |
| $2(f_1 g_2 + f_2 g_1)/S_{pq}^0$ | $2\Sigma f_i \Sigma g_k/S_{pq}^0$ | $\lg \cot g\, \varphi_{pq}^0$ | $\lg \sqrt{p_{pq}}$ |
| $D_{12}$ | $\Sigma D$ | $\lg 0{,}5$ | $\lg(\varphi_{pq}' - \varphi_{pq}^0)$ |
| $\lg D_{12}$ | $(\lg \Sigma D)$ | $\lg \cot g\, \varphi_{pq}^0 \sqrt{p_{pq}}/2$ | |
| $\lg Q_{12} \sqrt{p_{pq}}$ | $\lg(\Sigma Q \sqrt{p_{pq}})$ | | $\lg(\varphi_{pq}' - \varphi_{pq}^0)\sqrt{p_{pq}}$ |
| $Q_{12} \sqrt{p_{pq}}$ | $\Sigma Q \sqrt{p_{pq}}$ | | $(\varphi_{pq}' - \varphi_{pq}^0)\sqrt{p_{pq}}$ |
| $\lg dz_{12}$ | | | |
| $\lg Q_{12} dz_{12}$ | | | |
| $Q_{12} dz_{12}$ | $\varphi_{pq} - \varphi_{pq}^0$ | | |

## Schema 2.

| | | | |
|---|---|---|---|
| $-2$ | 0 | 0,038357 | 8,5838423 |
| 2 | 1 | 0,030173 | 8,4796213 |
| 0 | 0 | $-0{,}228833$ | $\dot{9}$,3595186 |
| 0 | 1 | | |
| 0,599 | | | |
| $-1{,}198$ | | 26,071 | 1,4161577 |
| 1,198 | | 33,142 | 1,5203787 |
| — | | $-\ 8{,}740$ | $\dot{0}$,6404814 |
| — | 50,473 | | 1,4682682 |
| $-0{,}076714$ | — | $\dot{9}$,1722132 | |
| $+0{,}060346$ | 0,030173 | $98^0 32' 58'',8$ | $3'',9$ |
| — | — | $\dot{9}$,1770664 | |
| $-0{,}016368$ | 0,030173 | 9,6989700 | |
| $\dot{8}$,21400 | 8,47962 | $\dot{8}$,8760364 | |
| 7,09003 | $\dot{7}$,35566 | | |
| 0,00123 | $-0{,}00227$ | | |
| 1,18752 | | | |
| 8,27755 | | | |
| 0,019 | $1'',999$ | | |

Digitized by Google

es sich nur um Elimination der P und Berechnung der Verhältnisse der $r_{ki}$. Um diese auszuführen, bildet man die Determinanten der vier Gleichungen, die dasselbe i enthalten, indem man die Grössen $r_{i1}$, $r_{i2}$ und $r_{i3}$ als Unbekannte ansieht. Diese Determinanten müssen verschwinden. Bezeichnet man nun mit $\mathcal{A}_p$, $\mathcal{A}_{hk}$, $L_p$, $L_{hk}$ Determinanten, die aus den $\lambda$ und l analog, wie die $F_p$, $F_{hk}$ aus den f, gebildet sind, so bestehen also die Gleichungen:

$$P_0 l_{0i} \mathcal{A}_0 = \sum_1^3 p P_p l_{pi} \mathcal{A}_p$$

Hieraus ergiebt sich:

$$(17) \quad P_0 \mathcal{A}_0 L_k = \sum_1^3 i P_0 \mathcal{A}_0 l_{0i} L_{ki} = \sum_1^3 i \sum_1^3 p P_p l_{pi} \mathcal{A}_p L_{ki} = P_k \mathcal{A}_k L_0.$$

Aus Gleichung (16) folgt ferner:

$$\sum_1^3 p \sum_1^3 k r_{ki} \lambda_{pk} \mathcal{A}_{pq} = \sum_1^3 p P_p l_{pi} \mathcal{A}_{pq}.$$

Es folgt also:

$$\mathcal{A}_0 r_{qi} = \sum_1^3 p l_{pi} \mathcal{A}_{pq} \cdot P_0 \mathcal{A}_0 L_p / L_0 \mathcal{A}_p$$

$$(18) \quad r_{qi} \doteq \sum_1^3 p l_{pi} \mathcal{A}_{pq} L_p / \mathcal{A}_p.$$

Die Grössen r sind die Indices der alten Axenebenen bei der neuen Symbolisirung, und zwar ist $r_{qi}$ der i te neue Index der q ten alten Axenebene.

Da später die aus den Grössen r gebildeten Determinanten $R_{hk}$ gebraucht werden, sollen dieselben hier auch berechnet werden. Es ist:

$$R_{hk} = (r_{h+1,k+1} r_{h+2,k+2} - r_{h+1,k+2} r_{h+2,k+1})$$

$$\doteq \sum_1^3 p \sum_1^3 q l_{p,k+1} l_{q,k+2} \cdot L_p / \mathcal{A}_p \cdot L_q / \mathcal{A}_q \cdot (\mathcal{A}_{p,h+1} \mathcal{A}_{q,h+2} - \mathcal{A}_{p,h+2} \mathcal{A}_{q,h+1})$$

$$\doteq \sum_1^3 p \mathcal{A}_0 l_{p,k+1} \cdot L_p / \mathcal{A}_p (l_{p+1,k+2} l_{p+2,h} \cdot L_{p+1} / \mathcal{A}_{p+1} - l_{p+2,k+2} l_{p+1,h} L_{p+2} / \mathcal{A}_{p+2})$$

$$(19) \quad \doteq \sum_1^3 p \lambda_{ph} \cdot L_{p+1} / \mathcal{A}_{p+1} \cdot L_{p+2} / \mathcal{A}_{p+2} \cdot L_{pk} \doteq \sum_1^3 p \lambda_{ph} L_{pk} \mathcal{A}_p / L_p.$$

Die Flächen, deren Indices bei der Berechnung der Axenelemente $f_{pi}$ (p = 1, 2, 3, 0) waren, mögen jetzt die Indices $g_{pi}$ (p = 1, 2, 3, 0) annehmen, dann ist nach Gleichung (16):

Digitized by Google

(20) $$g_{pi} \doteq \sum_{1}^{3}{}_{k} r_{ki} f_{pk}.$$

Bildet man aus den g die Determinanten $G_{hk}$, so erhält man:

$$G_{hk} \doteq (g_{h+1,\,k+1} g_{h+2,\,k+2} - g_{h+1,\,k+2} g_{h+2,\,k+1})$$

$$\doteq \sum_{1}^{3}{}_{m} \sum_{1}^{3}{}_{n} r_{m,k+1} r_{n,k+2} (f_{h+1,m} f_{h+2,n} - f_{h+2,m} f_{h+1,n})$$

$$\doteq \sum_{1}^{3}{}_{m} r_{m,k+1} (r_{m+1,k+2} F_{h,m+2} - r_{m+2,k+2} F_{h,m+1})$$

(21) $$\doteq \sum_{1}^{3}{}_{m} F_{hm} R_{mk}$$

(22) $$G_h = \sum_{1}^{3}{}_{k} g_{ok} G_{hk} \doteq \sum_{1}^{3}{}_{k} \sum_{1}^{3}{}_{n} \sum_{1}^{3}{}_{m} r_{nk} f_{on} F_{hm} R_{mk}$$

$$\doteq R_0 \sum_{1}^{3}{}_{m} f_{om} F_{hn} \doteq F_h.$$

Bezeichnet man die Constanten des Krystalles, die man bei Zugrundelegung der neuen Indices aus den gemessenen Winkeln berechnen würde, mit $\overline{a_h}$, $\overline{c_{h,h+1}}$ und $\overline{z_{hk}}$, so ist nach Gleichung (8) und (9):

$$\overline{z_{hk}} \doteq \sum_{1}^{3}{}_{p} \sum_{1}^{3}{}_{q} \gamma_{pq} \cdot \Delta_p/G_p \cdot \Delta_q/G_q \cdot G_{ph} G_{qk}$$

$$\overline{a_h}\,\overline{a_k}\,\overline{c_{hk}} \doteq \sum_{1}^{3}{}_{p} \sum_{1}^{3}{}_{q} \Delta_{pq} \cdot G_p/\Delta_p \cdot G_q/\Delta_q \cdot g_{ph} g_{qk}.$$

Wenn man hierin für die Grössen $g_{hk}$, $G_{hk}$ und $G_h$ die aus (20), (21) und (22) folgenden Werthe setzt, ergiebt sich:

$$\overline{z_{hk}} \doteq \sum_{1}^{3}{}_{p} \sum_{1}^{3}{}_{q} \sum_{1}^{3}{}_{m} \sum_{1}^{3}{}_{n} \gamma_{pq} \cdot \Delta_p/F_p \cdot \Delta_q/F_q \cdot F_{pm} R_{mh} F_{qn} R_{nk}$$

(23) $$\doteq \sum_{1}^{3}{}_{m} \sum_{1}^{3}{}_{n} R_{mh} R_{nk} z_{mn}.$$

Die $\overline{z_{hk}}$ hängen also mit den Grössen $z_{hk}$ durch homogene Gleichungen ersten Grades mit ganzzahligen Coëfficienten zusammen (vergl. das Beispiel p. 612).

Analog findet man:

$$\overline{a_h}\,\overline{a_k}\,\overline{c_{hk}} \doteq \sum_{1}^{3}{}_{p} \sum_{1}^{3}{}_{q} \sum_{1}^{3}{}_{m} \sum_{1}^{3}{}_{n} \Delta_{pq} \cdot F_p/\Delta_p \cdot F_q/\Delta_q \cdot r_{mh} f_{pm} r_{nk} f_{qn}$$

(24) $$\doteq \sum_{1}^{3}{}_{m} \sum_{1}^{3}{}_{n} r_{mh} r_{nk} a_m a_n c_{mn}.$$

Der Zusammenhang der Grössen $(\overline{a_h}\,\overline{a_k}\,\overline{c_{kh}})$ mit den $(a_h a_k c_{hk})$ ist demnach noch einfacher, als jener zwischen den $z_{hk}$ und den $z_{hk}$. Man wird also, nachdem man die $z_{hk}$ gefun-



Digitized by Google

den, erst die Grössen $a_h\, a_k\, c_{hk} \doteq Z_{hk}$ berechnen, dann eventuell eine Transformation vornehmen und schliesslich die $\overline{a_h}$ und $\overline{c_{h,\,h+1}}$ berechnen.

Es sollen nun noch die alten Indices derjenigen Flächen bestimmt werden, welche die neuen Axenebenen repräsentiren. Sie seien $\varrho_{pk}$ für die Axenebene, deren pter neuer Index nicht gleich Null ist; dann ist nach (16):

$$C_p = \sum_1^3{}_k\, r_{kp}\, \varrho_{pk}$$

$$0 = \sum_1^3{}_k\, r_{k,\,p+1}\, \varrho_{pk}$$

$$0 = \sum_1^3{}_k\, r_{k,\,p+2}\, \varrho_{pk}.$$

Addirt man diese Gleichungen, nachdem man sie der Reihe nach mit $R_{q,\,p}$, $R_{q,\,p+1}$, $R_{q,\,p+2}$ multiplicirt hat, so ergiebt sich:

$$C_p\, R_{qp} = \sum_1^3{}_i \sum_1^3{}_k R_{qi}\, r_{ki}\, \varrho_{pk} = R \cdot \varrho_{pq}$$

$$\varrho_{pq} \doteq R_{qp}. \tag{25}$$

Die Indices der alten Einheitsfläche bei der neuen Symbolisirung sind:

$$r_{oi} \doteq \sum_1^3{}_k\, r_{ki}. \tag{26}$$

Die alten Indices der neuen Einheitsfläche sind:

$$\varrho_{oi} \doteq \sum_1^3{}_k\, R_{ik}. \tag{27}$$

Die in diesem Paragraphen gegebenen Entwickelungen verlieren ihre Gültigkeit, wenn drei von den Flächen, deren Indices $\lambda$ und l sind, in einer Zone liegen. In diesem Falle muss man noch eine fünfte Fläche zum Vergleich heranziehen und zwar muss diese Fläche in einer der durch die ersten Flächen bestimmten Zonen liegen, mit Ausnahme der Zone, in welcher schon drei Flächen liegen. Von den fünf Flächen seien nun

| die alten Indices: | die neuen Indices: |
|---|---|
| $\lambda_{1i}$ | $l_{1i}$ |
| $\lambda_{2i}$ | $l_{2i}$ |
| $\lambda_{3i}$ | $l_{3i}$ |
| $\mu_{42}\lambda_{2i} + \mu_{43}\lambda_{3i}$ | $m_{42}\, l_{2i} + m_{43}\, l_{3i}$ |
| $\mu_{51}\lambda_{1i} + \mu_{53}\lambda_{3i}$. | $m_{51}\, l_{1i} + m_{53}\, l_{3i}$. |

Digitized by Google

Für eine Fläche $N_0$, die in den Zonen $N_1 N_4$ und $N_2 N_5$ liegt, folgt dann, analog, wie §. 1 p. 597:

$$\lambda_{0i} \doteq \mu_{43}\mu_{51}\lambda_{1i} + \mu_{42}\mu_{53}\lambda_{2i} + \mu_{43}\mu_{53}\lambda_{3i}$$
$$l_{0i} \doteq m_{43}m_{51}l_{1i} + m_{42}m_{53}l_{2i} + m_{43}m_{53}l_{3i}.$$
$$\mathcal{A}_1 \doteq \mu_{43}\mu_{51}\mathcal{A}_0 \qquad L_1 \doteq m_{43}m_{51}L_0$$
$$\mathcal{A}_2 \doteq \mu_{42}\mu_{53}\mathcal{A}_0 \qquad L_2 \doteq m_{42}m_{53}L_0$$
$$\mathcal{A}_3 \doteq \mu_{43}\mu_{53}\mathcal{A}_0 \qquad L_3 \doteq m_{43}m_{53}L_0.$$

Es ist also in Gleichung (18) und (19) zu setzen:

$$\text{(28)} \qquad \begin{aligned} L_1/\mathcal{A}_1 &= m_{43}m_{51}/\mu_{43}\mu_{51} \\ L_2/\mathcal{A}_2 &= m_{42}m_{53}/\mu_{42}\mu_{53} \\ L_3/\mathcal{A}_3 &= m_{43}m_{53}/\mu_{43}\mu_{53}. \end{aligned}$$

Die Gleichungen (20) bis (27) bleiben ungeändert.

## §. 5. Beispiel.

In der Abhandlung „Über die Ausdehnung monosymmetrischer und asymmetrischer Krystalle durch die Wärme“ führt J. Beckenkamp[1] unter anderem folgende an einem Krystall des Anorthit vom Vesuv bei 20° gemachte Winkelmessungen an:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| a = T : l | = $\bar{1}10 : 110$ | = | 59° 32′ 38″,3 |
| b = l : M | = 110 : 010 | = | 58 01 38,1 |
| c = M : P | = 010 : 001 | = | 85 54 17,4 |
| d = T : P | = $\bar{1}10 : 001$ | = | 69 20 00,8 |
| e = T : o | = $1\bar{1}0 : \bar{1}11$ | = | 98 33 02,7 |
| f = o : M | = $\bar{1}11 : 010$ | = | 115 12 00,4 |
| g = o : P | = $\bar{1}11 : 001$ | = | 57 49 57,6 |
| h = P : l | = 001 : 110 | = | 65 58 03,6 |

Diese Messungen sollen den folgenden Rechnungen zu Grunde gelegt werden.

I. Berechnung der Grössen z aus den Winkeln: a + b, e, f, c, d und g (vergl. p. 590—596).

Diese sechs Winkel liegen zwischen den Flächen T, M, o und P, von denen nicht drei in einer Zone liegen. Die Rechnung ist nach Schema 1 in dem Beispiel dazu durchgeführt, wobei T = $N_1$, M = $N_2$, o = $N_3$ und P = $N_0$ gesetzt wurde; sie ergiebt folgende Werthe:

$$z_{11} = 0{,}2053944 \qquad z_{23} = 0{,}0097043$$
$$z_{22} = 0{,}0673030 \qquad z_{31} = 0{,}1040900$$
$$z_{33} = 0{,}2743257 \qquad z_{12} = 0{,}0059917$$

[1] Zeitschr. f. Kryst. etc. 1881, 5, 456—466; dies. Jahrb. 1882, I, 183.



Digitized by Google

II. Berechnung der Grössen z aus den Winkeln: a + b, e, f, c, d und g unter Zugrundelegung folgender Flächensymbole: T = (100), M = (010), o = (001) und P = (111). — Transformation auf die vorher benützten Symbole (vergl. p. 596 u. 609).

Da für die Berechnung der z aus den Winkeln zwischen den Fundamentalflächen die Formeln:

$$z_{hk} \doteq \gamma_{hk} \Delta_h \Delta_k$$

gelten, so folgt aus der oben ausgeführten Rechnung unmittelbar:

| | |
|---|---|
| $z_{11} = 0{,}2607140$ | $z_{23} = -0{,}1271808$ |
| $z_{22} = 0{,}2692110$ | $z_{31} = -0{,}0437057$ |
| $z_{33} = 0{,}3314179$ | $z_{12} = -0{,}1226226$ |

Sollen nun durch eine Transformation die Indices

| | | | |
|---|---|---|---|
| von | $N_1$ | (100) | in $(1\bar{1}0)$ |
| „ | $N_2$ | (010) | „ (010) |
| „ | $N_3$ | (001) | „ $(\bar{1}\bar{1}1)$ |
| „ | $N_0$ | (111) | „ (001) |

übergehen, so ergiebt sich:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $L_{11} = 1$ | $L_{12} = 0$ | $L_{13} = 1$ | $L_1 = 1$ | |
| $L_{21} = 1$ | $L_{22} = 1$ | $L_{23} = 2$ | $L_2 = 2$ | |
| $L_{31} = 0$ | $L_{32} = 0$ | $L_{33} = 1$ | $L_3 = 1$ | |
| $\Delta_{11} = 1$ | $\Delta_{12} = 0$ | $\Delta_{13} = 0$ | $\Delta_1 = 1$ | |
| $\Delta_{21} = 0$ | $\Delta_{22} = 1$ | $\Delta_{23} = 0$ | $\Delta_2 = 1$ | |
| $\Delta_{31} = 0$ | $\Delta_{32} = 0$ | $\Delta_{33} = 1$ | $\Delta_3 = 1$ | |
| $r_{11} = 1$ | $r_{12} = -1$ | $r_{13} = 0$ | | |
| $r_{21} = 0$ | $r_{22} = 2$ | $r_{23} = 0$ | | |
| $r_{31} = -1$ | $r_{32} = -1$ | $r_{33} = 1$ | | |
| $R_{11} = 2$ | $R_{12} = 0$ | $R_{13} = 2$ | | |
| $R_{21} = 1$ | $R_{22} = 1$ | $R_{23} = 2$ | | |
| $R_{31} = 0$ | $R_{32} = 0$ | $R_{33} = 2$ | | |

$$\overline{z_{11}} = 4z_{11} + z_{22} + 4z_{12} = 4 \cdot 0{,}2053944$$
$$\overline{z_{22}} = z_{22} = 4 \cdot 0{,}0673030$$
$$\overline{z_{33}} = 4z_{11} + 4z_{22} + 4z_{33} + 8z_{23} + 8z_{31} + 8z_{12} = 4 \cdot 0{,}2743257$$
$$\overline{z_{23}} = 2z_{22} + 2z_{23} + 2z_{12} = 4 \cdot 0{,}0097043$$
$$\overline{z_{31}} = 4z_{11} + 2z_{22} + 2z_{23} + 4z_{31} + 6z_{12} = 4 \cdot 0{,}1040900$$
$$\overline{z_{12}} = z_{22} + 2z_{12} = 4 \cdot 0{,}0059917$$

Die Verhältnisse der auf beiden Wegen erhaltenen Grössen z sind also dieselben.

Digitized by Google

III. Berechnung der Grössen z aus den Winkeln: a, b, g, h und e (vergl. p. 596—598).

Setzt man $o = (\bar{1}\bar{1}1) = N_1$, $T = (1\bar{1}0) = N_2$, $1 = (110) = N_3$, $M = (010) = N_4$, $P = (001) = N_5$, so sind die Winkel

| | | |
|---|---|---|
| $\varphi_{23} = 59^\circ 32' 38'',3$ | $\varphi_{24} = 117^\circ 34' 16'',4$ | $\varphi_{15} = 57^\circ 49' 57'',6$ |
| $\varphi_{31} = 123\ 48\ 01,2$ | $\varphi_{34} = -58\ 01\ 38,1$ | $\varphi_{35} = 65\ 58\ 03,6$ |
| $\varphi_{12} = 98\ 33\ 02,7$ | | |

hieraus folgt:

$$\begin{aligned} \lg\ \sigma_{24}\sigma_{35} &= 9{,}9082685 \\ \lg -\sigma_{34}\sigma_{15} &= 9{,}8561748 \\ \lg\ \sigma_{24}\sigma_{15} &= 9{,}8752728 \end{aligned}$$

Ferner ist:

| | | |
|---|---|---|
| $f_{11} = -1$ | $f_{12} = -1$ | $f_{13} = 1$ |
| $f_{21} = 1$ | $f_{22} = -1$ | $f_{23} = 0$ |
| $f_{31} = 1$ | $f_{32} = 1$ | $f_{33} = 0$ |
| $f_{41} = 0$ | $f_{42} = 1$ | $f_{43} = 0$ |
| $f_{51} = 0$ | $f_{52} = 0$ | $f_{53} = 1$ |

Daraus ergiebt sich:

$$m_{42} = -1\ ,\ m_{43} = 1\ ,\ m_{51} = 1\ ,\ m_{53} = 1.$$

Es folgt also nach (14):

$$\begin{aligned} \lg \Delta_1/F_1 &= 9{,}9082685 \\ \lg \Delta_2/F_2 &= 9{,}8561748 \\ \lg \Delta_3/F_3 &= 0{,}8752727 \end{aligned}$$

Mit diesen Werthen und den Grössen $F_{hk}$ und $\gamma_{hk}$ erfolgt die Rechnung wieder nach Schema 1. Man erhält so:

| | |
|---|---|
| $z_{11} = 1{,}624928$ | $z_{23} = 0{,}076842$ |
| $z_{22} = 0{,}532456$ | $z_{31} = 0{,}823556$ |
| $z_{33} = 2{,}170382$ | $z_{12} = 0{,}047405$ |

Multiplizirt man diese Zahlen mit dem Factor 0,1264, so ergiebt sich:

| | |
|---|---|
| $z_{11} = 0{,}2053909$ | $z_{23} = 0{,}0097128$ |
| $z_{22} = 0{,}0673024$ | $z_{31} = 0{,}1040974$ |
| $z_{33} = 0{,}2743363$ | $z_{12} = 0{,}0059940$ |

Diese Werthe weichen von den aus der ersten Combination von Winkeln berechneten erst in der sechsten Dezimalstelle ab.

Digitized by Google

IV. Berechnung der Grössen z aus sämmtlichen gemessenen Winkeln nach der Methode der kleinsten Quadrate (vergl. p. 601—605).

Unter Zugrundelegung der gefundenen Näherungswerthe:

$$z_{11}^0 = 20{,}539 \qquad z_{23}^0 = 0{,}970$$
$$z_{22}^0 = 6{,}730 \qquad z_{31}^0 = 10{,}409$$
$$z_{33}^0 = 27{,}433 \qquad z_{12}^0 = 0{,}599$$

und der bekannten Indices werden die acht Winkel $\varphi^0$ und die zugehörigen Grössen Q nach Schema 2 berechnet. Für den Winkel e ist diese Rechnung in dem Beispiel zu Schema 2 durchgeführt. Man erhält so folgende Werthe:

| | $\varphi^0$ | $10^3 Q_{11}$ | $10^3 Q_{33}$ | $10^3 Q_{23}$ | $10^3 Q_{31}$ | $10^3 Q_{12}$ | $\varphi' - \varphi^0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a | 59° 32′ 35,5″ | − 20,98 | — | — | — | − 1,90 | 2″,8 |
| b | 58 01 41,9 | 10,96 | — | — | — | − 63,25 | − 3,8 |
| c | 85 54 22,6 | — | 1,30 | − 73,78 | — | — | − 5,2 |
| d | 69 19 56,2 | 7,23 | 6,88 | 39,96 | − 39,96 | − 14,46 | 4,6 |
| e | 98 32 58,8 | 29,25 | − 2,27 | 38,94 | − 29,87 | 1,23 | 3,9 |
| f | 115 12 01,7 | − 7,10 | − 7,10 | − 59,80 | 14,20 | 59,80 | −1,3 |
| g | 57 49 50,3 | 9,49 | − 17,91 | 20,20 | 20,20 | 18,98 | 7,3 |
| h | 65 58 17,7 | 7,83 | 8,13 | − 39,18 | − 39,18 | 15,66 | − 14,1 |

In dieser Tabelle ist der Werth von $Q_{22}$ nicht aufgeführt, da $dz_{22} = 0$ gesetzt werden soll. Man erhält dann folgende fünf Normalgleichungen:

$$16{,}699\,dz_{11} - 0{,}726\,dz_{33} + 17{,}374\,dz_{23} - 13{,}785\,dz_{31} - 8{,}438\,dz_{12} = 150''$$
$$- 0{,}726\,dz_{11} + 4{,}915\,dz_{33} - 1{,}651\,dz_{23} - 9{,}883\,dz_{31} - 7{,}392\,dz_{12} = -2202$$
$$+17{,}374\,dz_{11} - 1{,}651\,dz_{33} + 140{,}758\,dz_{23} - 16{,}660\,dz_{31} - 43{,}361\,dz_{12} = 14970$$
$$-13{,}785\,dz_{11} - 9{,}883\,dz_{33} - 16{,}660\,dz_{23} + 46{,}338\,dz_{31} + 11{,}601\,dz_{12} = 3814$$
$$- 8{,}438\,dz_{11} - 7{,}392\,dz_{33} - 43{,}361\,dz_{23} + 11{,}601\,dz_{31} + 83{,}963\,dz_{12} = 134$$

Die Auflösung dieser Gleichungen ergiebt:

$$dz_{11} = -133'',2 \qquad dz_{23} = 122'',0$$
$$dz_{22} = 0'',0 \qquad dz_{31} = -6'',1$$
$$dz_{33} = -416'',0 \qquad dz_{12} = 15'',4$$

Mit diesen Werthen sind nach Schema 2 die Werthe $\varphi - \varphi^0$ berechnet, deren Addition zu $\varphi^0$ die mit den corrigirten Werthen z berechneten Winkel $\varphi$ ergiebt. Es folgt

| für | a | b | c | d | e | f | g | h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\varphi - \varphi^0$ | 2″,8 | − 2″,4 | − 9″,5 | 1″,1 | 2″,0 | − 2″,6 | 8″,8 | − 8,7 |

Die hieraus folgenden Werthe von $\varphi$ weichen von den von J. Beckenkamp berechneten Werthen nur in einzelnen Fällen um 0,″1 ab.

Digitized by Google

Um die corrigirten Werthe z zu berechnen, muss man die dz in Längeneinheiten (den Radius = 1) ausdrücken. Es ergiebt sich:

| | |
|---|---|
| $dz_{11} = -0{,}000646$ | $z_{11} = 20{,}538354$ |
| $dz_{22} = 0{,}000000$ | $z_{22} = 6{,}730000$ |
| $dz_{33} = -0{,}002017$ | $z_{33} = 27{,}430983$ |
| $dz_{23} = 0{,}000591$ | $z_{23} = 0{,}970591$ |
| $dz_{31} = -0{,}000029$ | $z_{31} = 10{,}408971$ |
| $dz_{12} = 0{,}000075$ | $z_{12} = 0{,}599075$ |

V. Berechnung der Axenelemente aus den Grössen z (vergl. p. 593).

Aus den vorhin gefundenen Werthen von z ergeben sich für die Unterdeterminanten Z folgende Werthe:

| | |
|---|---|
| $Z_{11} = 183{,}66846$ | $Z_{23} = -13{,}698587$ |
| $Z_{22} = 455{,}04046$ | $Z_{31} = -69{,}470931$ |
| $Z_{33} = 137{,}86423$ | $Z_{12} = -6{,}330351$ |

Aus den links stehenden drei Werthen folgt:

$$\lg a_1 = 1{,}1320173 \quad \lg a_2 = 1{,}3290250 \quad \lg a_3 = 1{,}0697258$$

und dann folgt aus den rechts stehenden Werthen:

$$\lg - c_{23} = 8{,}7379250 \quad \lg - c_{31} = 9{,}6400601 \quad \lg - c_{12} = 8{,}3403855$$

Aus diesen Logarithmen ergeben sich die Axenelemente:

$$a_1 : a_2 : a_3 = 0{,}635320 : 1 : 0{,}550428.$$

$$\pi_2\pi_3 = 93^\circ\,08'\,06'',7 \quad \pi_3\pi_1 = 115^\circ\,53'\,08'',3 \quad \pi_1\pi_2 = 91^\circ\,15'\,17'',0.$$

Diese Werthe weichen von den von J. Beckenkamp berechneten ebenfalls erst in der letzten Dezimalstelle um eine Einheit ab.

## Kapitel III.

## Monoklines System.

### §. 1. Bestimmung der Axenelemente aus gemessenen Flächenwinkeln.

Die Krystalle des monoklinen Systems besitzen eine zweizählige Symmetrieaxe und, sofern sie holoëdrisch ausgebildet sind, eine zu jener senkrechte Symmetrieebene. Die Symmetrieaxe wird zur krystallographischen Axe $\pi_2$ gewählt; die beiden anderen Axen legt man, der Symmetrie des Systems entsprechend, in die Symmetrieebene. Es sind dann also von vorn herein zwei Axenwinkel als Rechte bestimmt und nur

Digitized by Google

der dritte und die Verhältnisse der drei Axeneinheiten, also im Ganzen drei Grössen, sind aus Beobachtungen zu berechnen.

Zu dieser Berechnung gehört die Beobachtung von mindestens drei von einander unabhängigen Winkeln. In jeder Zone kann man aber nur zwei von einander unabhängige Winkel messen, in den Zonen, welche die Symmetrieebene in sich enthalten, sogar nur einen, da ein zweiter zwischen den Flächen (010) und (h0k) als Rechter gegeben ist. Wenn man die Axenelemente berechnen will, so müssen also wenigstens drei Flächen vorhanden sein, welche nicht in einer Zone liegen.

Bevor man an die Berechnung des Krystalles als eines monoklinen gehen kann, muss die Lage der Fläche (010) und der Zone der Symmetrieaxe, deren Flächen die Indices (h0k) haben, constatirt sein.

Liegen zwei vorhandene Flächen in der Zone der Symmetrieaxe, so muss die dritte ausserhalb derselben liegen. Wenn sie mit (010) zusammenfiele, so würde sich aus den drei Flächen nur ein Winkel bestimmen lassen und man könnte die Axenelemente nicht berechnen. Es muss also mindestens eine Fläche $N_1$ vorhanden sein, die ausserhalb der Zone der Symmetrieaxe liegt und nicht mit (010) zusammenfällt (Taf. XXI Fig. 4).

Was nun die Wahl der Indices anbetrifft, so sind bei dem monoklinen System vier Grössen willkürlich wählbar, nämlich je eine, welche die Richtung der Axen $\pi_1$ und $\pi_3$ bestimmt und die Verhältnisse der Axeneinheiten. Man kann also im Allgemeinen für zwei Flächen die Indices (mit gewissen Beschränkungen) willkürlich wählen.

Hiernach kann man die Indices von $N_1$ beliebig annehmen, nur mit der Beschränkung, dass $f_{12} > 0$ oder $< 0$ sein muss, je nachdem $N_1$ näher an dem positiven oder an dem negativen Ende der Symmetrieaxe liegt. Hierdurch sind auch die Indices einer Fläche $P_1$, welche in der Zone der Symmetrieaxe und in der Zone $N_1\ \pi_2$ liegt, bestimmt zu: $f_{11}$, 0, $f_{13}$.

Ist ausser $N_1$ keine Fläche mehr vorhanden, die nicht mit (010) zusammenfällt oder in der Zone der Symmetrieaxe liegt, so müssen in dieser wenigstens zwei Flächen $P_2$ und

Digitized by Google

$P_3$ vorhanden sein, die nicht mit $P_1$ zusammenfallen. Wäre nur eine solche $P_2$ und ausserdem $\pi_2$ vorhanden, so könnte man nur zwei Winkel messen, da der dritte 90° betragen müsste: wären aber $P_2$ und $P_1$ vorhanden, so könnte man ebenfalls nur zwei unabhängige Winkel messen, indem der dritte Winkel aus dem rechtwinkligen sphärischen Dreieck $N_1 P_1 P_2$ berechnet werden könnte: wäre in diesem Falle auch noch $\pi_2$ vorhanden, so würde dadurch kein neuer Winkel hinzukommen. Es müssen also $P_2$ und $P_3$ vorhanden sein.

Die Indices von $P_2$ können willkürlich gewählt werden. Sie seien: $f_{21}$, 0, $f_{23}$. Die Indices von $P_3$ können dann in der Form dargestellt werden: $m_{31} f_{11} + m_{32} f_{21}$, 0, $m_{31} f_{13} + m_{32} f_{23}$, worin die m ganze Zahlen sind, deren Vorzeichen jedoch nach (I, 13) zu bestimmen sind. Da nun hierdurch vier Grössen willkürlich angenommen sind, so sind die Indices aller Flächen bestimmt.

Ist ausser $N_1$ noch eine zweite Fläche $N_2$ vorhanden, die nicht mit $\pi_2$ zusammenfällt und weder in der Zone der Symmetrieaxe, noch in der Zone $N_1 \pi_2$ liegt (dieses würde keinen von dem ersten Fall verschiedenen liefern), so kann man dieser ebenfalls beliebige Indices geben, mit der Beschränkung, dass wiederum $f_{22} > 0$ oder $< 0$ sein muss, wenn $N_2$ näher an dem positiven oder an dem negativen Ende der Symmetrieaxe liegt. Hierdurch ist dann über sämmtliche willkürlich wählbare Grössen verfügt und kein weiterer Index beliebig. Es muss also als dritte Fläche eine vorhanden sein, deren Indices man aus dem Zonenverband bestimmen kann. Würde man Flächen hinzunehmen, deren Indices nicht aus dem Zonenverband zu bestimmen sind, so würde man zwar mit jeder neuen Fläche zwei unabhängige Winkel mehr messen können; man hätte dann aber auch jedesmal zwei neue Unbekannte, die Indices, mehr und könnte dadurch nie zu einer Bestimmung der Axenelemente gelangen. Es ist aber sogar nur nöthig, den primären Zonenverband zu betrachten, da ein weiter abgeleiteter Zonenverband das Vorhandensein der zunächst ableitbaren Flächen voraussetzt.

Als solche primär aus $N_1$ und $N_2$ in Verbindung mit $\pi_2$ und der Zone der Symmetrieaxe ableitbaren Flächen erhält man (Taf. XXI Fig. 5):

Digitized by Google

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $M_1$ | mit den | Indices: | $f_{11}$, | $-f_{12}$, | $f_{13}$ |
| $M_2$ | „ | „ „ | $f_{21}$, | $-f_{22}$, | $f_{23}$ |
| $P_1$ | „ | „ „ | $f_{11}$, | 0, | $f_{13}$ |
| $P_2$ | „ | „ „ | $f_{21}$, | 0, | $f_{23}$ |
| $P_3$ | „ | „ „ | $f_{22}f_{11} + f_{12}f_{21}$, | 0, | $f_{22}f_{12} + f_{12}f_{23}$ |
| $P_4$ | „ | „ „ | $f_{22}f_{11} - f_{12}f_{21}$, | 0, | $f_{22}f_{13} - f_{12}f_{13}$. |

Hierzu kommt noch $\pi_2$ mit den Indices: 0, 1, 0.

Ob $M_1$ oder $M_2$ vorhanden ist, macht keinen wesentlichen Unterschied. Ebenso ist kein Unterschied vorhanden zwischen den Fällen, in welchen $P_1$ oder $P_2$ vorhanden ist. Endlich ist das Vorkommen von $P_4$ ohne Belang, da dieses mit $N_1$ und $N_2$ in einer Zone liegt.

Es bleiben also nur die Fälle übrig, in welchen ausser $N_1$ und $N_2$ noch $M_1$ oder $P_1$ oder $P_3$ oder $\pi_2$ vorkommt. Diese lassen sich alle leicht auf den letzten zurückführen. Es soll zu diesem Zweck die Fläche $\pi_2$ jetzt mit $N_3$ bezeichnet werden. Dann sind also die Winkel $\varphi_{12}$, $\varphi_{23}$, und $\varphi_{31}$ aus den gemessenen zu bestimmen.

**a.** Es ist $N_1$ $N_2$ und $M_1$ vorhanden und die drei Winkel zwischen diesen Flächen gemessen.

Es ist:

(1)
$$\gamma_{13} = \sin \frac{M_1 N_1}{2}$$
$$\gamma_{12} = \gamma_{13}\gamma_{23} + \sigma_{13}\sigma_{23} \cos (N_1 N_3 N_2)$$
$$\cos (M_1 N_2) = -\gamma_{13}\gamma_{23} + \sigma_{13}\sigma_{23} \cos (N_1 N_3 N_2)$$

Folglich:

(2)
$$\gamma_{13}\gamma_{23} = \frac{\gamma_{12} - \cos (M_1 N_2)}{2} = \sin \frac{M_1 N_2 + N_1 N_2}{2} \sin \frac{M_1 N_2 - N_1 N_2}{2}$$

**b.** Es ist $N_1$ $N_2$ und $P_1$ vorhanden und die drei Winkel zwischen diesen Flächen gemessen.

(3)
$$\gamma_{13} = \sin (P_1 N_1)$$
$$\gamma_{12} = \gamma_{13}\gamma_{23} + \sigma_{13}\sigma_{23} \cos (N_1 N_3 N_2)$$
$$\cos (P_1 N_2) = \sigma_{23} \cos (N_1 N_3 N_2)$$

Folglich:

(4)
$$\gamma_{13}\gamma_{23} = \gamma_{12} - \sigma_{13} \cos (P_1 N_2).$$

**c.** Es ist $N_1$ $N_2$ und $P_3$ vorhanden und die drei Winkel zwischen diesen Flächen gemessen.

Aus:

$$\cos (M_1 N_1) = \gamma_{12} \cos (M_1 N_2) + \sigma_{12} \sin (M_1 N_2) \cos (N_1 N_2 P_3)$$
$$\cos (P_3 N_1) = \gamma_{12} \cos (P_3 N_2) + \sigma_{12} \sin (P_3 N_2) \cos (N_1 N_2 P_3)$$

Digitized by Google

folgt:

$$\cos(M_1 N_1)\sin(P_3 N_2) - \cos(P_3 N_1)\sin(M_1 N_2) = -\gamma_{12}\sin(P_3 N_1)$$

Setzt man hierin:

$$\cos(M_1 N_1) = 1 - 2\gamma_{12}^2$$
$$M_1 N_2 = P_3 N_1 + P_3 N_2$$

so ergiebt sich:

$$(5)\quad \gamma_{12}^2 = \sin\frac{P_3 N_1 + P_3 N_2 + N_1 N_2}{2}\cdot\sin\frac{P_3 N_1 + P_3 N_2 - N_1 N_2}{2}\cdot\frac{\sin P_3 N_1}{\sin P_3 N_2}$$

Ferner ist:

$$\sin(P_2 N_2) : \sin(P_3 N_2) = \sin(P_2 P_3 N_2) : 1 = \sin(P_1 N_1) : \sin(P_3 N_1)$$
$$(6)\quad \gamma_{23} = \gamma_{13}\cdot\sin(P_3 N_2)/\sin(P_3 N_1).$$

Durch die Gleichungen (1) bis (6) sind die drei Fälle auf den zurückgeführt, in welchem ausser $N_1$ und $N_2$ noch $\pi_2$ vorkommt.

Es ergeben sich somit zwei[1] Hauptfälle, die nun behandelt werden sollen.

---

[1] M. Websky führt in der Abhandlung „über die Ein- und Mehrdeutigkeit der Fundamentalbogen-Complexe für die Elemente monoklinischer Krystallgattungen“ (Sitzungsber. Akad. Berlin 1884, p. 371—386) 90 Combinationen von je drei Winkeln an, die zwischen zwei Flächen g und h und den aus diesen durch den primären Zonenverband ableitbaren Flächen liegen. Jede dieser Combinationen gestattet die Axenelemente zu berechnen; allerdings wird die Lösung bei einem Theil derselben mehrdeutig. [Auch in „Anwendung der Linearprojektion zum Berechnen der Krystalle“, Berlin 1887, p. 324—329 findet sich jene Zusammenstellung der 90 Combinationen.] Dieses Resultat steht mit der in der vorliegenden Abhandlung aufgestellten Zweitheilung der möglichen Fälle in keinem Widerspruch, da bei allen diesen Fällen, wie hier nachgewiesen werden soll, Flächen auftreten, welche die Zugehörigkeit zu einem der beiden Hauptfälle anzeigen. Es würde sich also immer nur um eine andere Wahl der zu messenden Winkel handeln. Sind die Indices von g und h gegeben, $k_1\ k_2\ k_3$ resp. $\eta_1\ \eta_2\ \eta_3$, so werden von M. Websky noch folgende Flächen in Rechnung gezogen:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| b | mit den | Indices | 0, | 1, | 0 |
| $\bar{g}$ | „ | „ | $k_1$, | $\bar{k}_2$, | $k_3$ |
| $\bar{h}$ | „ | „ | $\eta_1$, | $\bar{\eta}_2$, | $\eta_3$ |
| $e_1$ | „ | „ | $k_1$, | 0, | $k_3$ |
| $e_2$ | „ | „ | $\eta_1$, | 0, | $\eta_3$ |
| $e_3$ | „ | „ | $k_2\eta_1 - \eta_2 k_1$, | 0, | $k_2\eta_3 + \eta_2 k_3$ |
| $e_4$ | „ | „ | $k_2\eta_1 - \eta_2 k_1$, | 0, | $k_2\eta_3 - \eta_2 k_3$. |

Digitized by Google

A. Es sind an dem Krystall die drei Flächen $N_1 P_2$ und $P_3$ vorhanden und die Winkel zwischen denselben gemessen (Taf. XXI Fig. 4).

Bezeichnet man $\cos(N_1 P_2)$ mit $\gamma_{12}$, $\cos(N_1 P_3)$ mit $\gamma_{13}$, $\cos(P_2 P_3)$ mit $\gamma_{23}$, die Fläche $\pi_2$ mit $N_0$, $\cos(N_0 P_2)$ mit $\gamma_{02}$ und $\cos(N_0 P_3)$ mit $\gamma_{03}$, so kennt man von den Cosinussen der sechs Winkel, die zwischen den vier Flächen $N_0 N_1 P_2$ und $P_3$ liegen, fünf, nämlich: $\gamma_{12}$, $\gamma_{23}$, $\gamma_{31}$, $\gamma_{02} = 0$ und $\gamma_{03} = 0$. Man kann dann also nach (II, 1) den Cosinus $\gamma_{01}$ berechnen und kann, da von den vier Flächen nicht drei in einer Zone liegen, die Formeln von Fall A im triklinen System anwenden.

Die Indices der vier Flächen sind:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\pi_2(N_0)$ | 0 | $f_{02}$ | 0 |
| $N_1$ | $f_{11}$ | $f_{12}$ | $f_{13}$ |
| $P_2$ | $f_{21}$ | 0 | $f_{23}$ |
| $P_3$ | $f_{31}$ | 0 | $f_{33}$ |

Hieraus folgt:

(7) $$F_p \doteq F_{p2}.$$

Analog ergiebt sich für die Determinanten der $\gamma$, wenn der gemeinsame Factor $\gamma_{01}$ fortgelassen wird:

(8) $$\Delta_p \doteq \Delta_{p1}.$$

Setzt man die Werthe aus (7) und (8) für $F_p$ und $\Delta_p$ in (II, 8) und (II, 9) ein, so erhält man:

---

Zunächst zeigt sich, dass von den aufgestellten 90 Fällen folgende immer paarweise identisch sind, indem sie durch Vertauschung von g und h, $\bar{g}$ und $\bar{h}$, $e_1$ und $e_2$ aus einander hervorgehen:

1 = 2, 4 = 5, 6 = 7, 9 = 14, 10 = 13, 11 = 16, 12 = 15,
17 = 18, 19 = 20, 22 = 25, 23 = 24, 27 = 46, 28 = 52, 29 = 51,
30 = 54, 31 = 53, 32 = 48, 33 = 47, 34 = 50, 35 = 49, 36 = 56,
37 = 55, 38 = 58, 39 = 57, 40 = 59, 41 = 63, 42 = 62, 43 = 61,
44 = 60, 45 = 64, 65 = 66, 67 = 68, 69 = 75, 70 = 79, 71 = 78,
72 = 77, 73 = 76, 74 = 80, 82 = 85, 83 = 84, 87 = 88, 89 = 90.

Nur die Fälle 3, 8, 21, 26, 81, 86 gehen bei obiger Vertauschung in sich selbst über.

Die Fälle 1—31, 43—45, 65—71, 81—90 führen nun auf den zweiten Hauptfall, da bei diesem ausser g und h noch wenigstens eine der Flächen $\bar{g}$, $\bar{h}$, $e_1$, $e_2$, $e_3$ vorhanden ist. Die Fälle 32—35, 40—42, 72—74 lassen sich auf den ersten Fall zurückführen, da bei ihnen ausser g immer zwei der Flächen $e_2$, $e_3$ und $e_4$ vorhanden sein müssen.

Digitized by Google

(9) $$z_{hk} \doteq \sum_{1}^{3}p \sum_{1}^{3}q \gamma_{pq} \cdot \Delta_{p1}/F_{p2} \cdot \Delta_{q1}/F_{q2} \cdot F_{ph} F_{qk}.$$

(10) $$a_h a_k c_{hk} \doteq \sum_{1}^{3}p \sum_{1}^{3}q \Delta_{pq} \cdot F_{p2}/\Delta_{p1} \cdot F_{q2}/\Delta_{q1} \cdot f_{ph} f_{qk}.$$

Diese Gleichungen geben die gesuchten Werthe. Man kann dieselben aber auch allgemein noch etwas weiter ausrechnen.

Gleichung (9) giebt für $k = 2$:

$$z_{h2} = \sum_{1}^{3}p \sum_{1}^{3}q \gamma_{pq} \cdot \Delta_{p1}/F_{p2} \cdot \Delta_{q1} F_{ph} = \Delta_0 \cdot \Delta_{11} F_{1h}/F_{12}.$$

Da aber $F_{11} = F_{13} = 0$ ist, so folgt:

(11) $$z_{12} = z_{32} = 0 \quad z_{22} = \Delta_0 \Delta_{11}.$$

$$z_{hk} = \sum_{2}^{3}p \sum_{2}^{3}q \gamma_{pq} \cdot \Delta_{p1}/F_{p2} \cdot \Delta_{q1}/F_{q2} \cdot F_{ph} F_{qk} \Big\} \text{ für: } h, k = 1, 3.$$

Gleichung (10) ergiebt analog, da $f_{22} = f_{32} = 0$ ist:

$$a_h a_2 c_{h2} = \sum_{1}^{3}p F_{p2} \cdot F_{12}/\Delta_{11} \cdot f_{ph} f_{12}.$$

Also:

(12) $$a_1 a_2 c_{12} = a_2 a_3 c_{23} = 0 \quad a_2^2 = F_0^2/\Delta_{11}$$

$$a_h a_k c_{hk} = \sum_{1}^{3}p \sum_{1}^{3}q \Delta_{pq} \cdot F_{p2}/\Delta_{p1} \cdot F_{q2}/\Delta_{q1} \cdot f_{ph} f_{qk} \Big\} \text{ für: } h, k = 1, 3.$$

Der Zusammenhang der Grössen z mit den a und c ist bei dem monoklinen System ebenfalls einfacher als bei dem triklinen System. Da $c_{12} = c_{23} = 0$ ist, folgt:

$$\begin{array}{llll} D_{11} = 1 & & D_{23} = 0 & \\ D_{22} = 1 - c_{13}^2 & & D_{31} = -c_{13} & D_0 = 1 - c_{13}^2 \\ D_{33} = 1 & & D_{12} = 0 & \end{array}$$

(13)
$$\left|\begin{array}{ll} z_{11} = 1/a_1^2 & z_{23} = 0 \\ z_{22} = (1 - c_{13}^2)/a_2^2 & z_{31} = -c_{13}/a_1 a_3 \\ z_{33} = 1/a_3^2 & z_{12} = 0 \end{array}\right.$$

und umgekehrt:

$$\begin{array}{llll} a_1^2 = C \cdot Z_{11} & & a_3^2 & = C \cdot Z_{33} \\ a_2^2 = C \cdot Z_{22} & & a_1 a_3 c_{13} & = C \cdot Z_{13} \end{array}$$

B. Es sind an dem Krystall $N_1$ $N_2$ und $\pi_2$ ($N_3$) vorhanden und die Winkel zwischen diesen Flächen gemessen (Taf. XXI Fig. 5).

Zieht man die Flächen $P_1$ und $P_2$ mit in Betracht, so kennt man ihre Indices und die Winkel, die sie mit $N_3$ bilden. Die Rechnung wird also auf den Fall B im triklinen System (p. 596—598) zurückgeführt, wenn man $P_1$ und $P_2$ mit den

Digitized by Google

dort vorkommenden Flächen $N_5$ und $N_4$ identificirt. Dieses geschieht dadurch, dass man setzt:

$$m_{42} = f_{32} \qquad m_{43} = -f_{22}$$
$$m_{51} = f_{32} \qquad m_{53} = -f_{12}$$

Für die $\sigma$ ergeben sich folgende Werthe:

$$\sigma_{24} = -\gamma_{23} \qquad \sigma_{34} = 1$$
$$\sigma_{15} = -\gamma_{13} \qquad \sigma_{35} = 1.$$

Setzt man diese Werthe in (II, 14) ein, so ergiebt sich:

$$F_1 = -f_{22} f_{32} \qquad \Delta_1 = -\gamma_{23}\gamma_{33}$$
$$F_2 = -f_{32} f_{12} \qquad \Delta_2 = -\gamma_{33}\gamma_{13}$$
$$F_3 = f_{12} f_{22} \qquad \Delta_3 = \gamma_{13}\gamma_{23}.$$

Also allgemein:

$$(14) \qquad F_p/\Delta_p = f_{p+1,2} f_{p+2,2}/\gamma_{p+1,3}\gamma_{p+2,3} = \gamma_{p3}/f_{p2}.$$

Durch Einsetzen dieser Werthe in (II, 8) und (II, 9) erhält man:

$$(15) \qquad z_{hk} = \sum_1^3 p \sum_1^3 q \gamma_{pq} \cdot f_{p2}/\gamma_{p3} \cdot f_{q2}/\gamma_{q3} \cdot F_{ph} F_{qk}.$$

$$(16) \qquad a_h a_k c_{hk} = \sum_1^3 p \sum_1^3 q \Delta_{pq} \cdot \gamma_{p3}/f_{p2} \cdot \gamma_{q3}/f_{q2} \cdot f_{ph} f_{qk}.$$

Da $f_{31} = f_{33} = 0$ und $F_{12} = F_{22} = 0$ ist, folgt für $k = 2$:

$$z_{h2} = \sum_1^3 p f_{p2} f_{32} F_{ph} \cdot F_{32} = F_0 \sum_1^3 p f_{p2} F_{ph}$$

$$a_h a_2 c_{h2} = \sum_1^3 p \sum_1^3 q \Delta_{pq} \cdot \gamma_{p3}/f_{p2} \cdot \gamma_{q3} f_{ph} = \Delta_0 f_{3h}/f_{32}.$$

Also ergiebt sich schliesslich:

$$(17) \qquad \left.\begin{array}{l} z_{12} = z_{32} = 0 \qquad z_{22} = F_0^2 \\ z_{hk} = \sum_1^3 p \sum_1^3 q \gamma_{pq} \cdot f_{p2}/\gamma_{p3} \cdot f_{q2}/\gamma_{q3} \cdot F_{ph} F_{qk} \end{array}\right\} \text{für: h, k} = 1,3$$

$$(18) \qquad \left.\begin{array}{l} a_1 a_2 c_{12} = a_2 a_3 c_{23} = 0 \qquad a_2^2 = \Delta_0 \\ a_h a_k c_{hk} = \sum_1^2 p \sum_1^2 q \Delta_{pq} \cdot \gamma_{p3}/f_{p2} \cdot \gamma_{q3}/f_{q2} \cdot f_{ph} f_{qk} \end{array}\right\} \text{für h, k} = 1,3.$$

## §. 2. Bestimmung der Indices einer Fläche und Berechnung der Axenelemente aus sämmtlichen Winkelbeobachtungen.

Die Bestimmung der Indices einer Fläche geschieht im monoklinen System ganz ebenso, wie im triklinen System (II, §. 2). Nur ist die Berechnung der S. und $\gamma$ einfacher, da $z_{12}$ und $z_{32}$ gleich Null sind.

Digitized by Google

Auch für die Berechnung der Axenelemente aus allen Winkelbeobachtungen bleibt die Methode im Ganzen dieselbe, wie sie beim triklinen System (II, §. 3) zur Anwendung gekommen ist. Nur treten einige Vereinfachungen ein. Da $z_{12} = z_{23}$ constant gleich Null sein soll, muss $dz_{12} = dz_{23}$ ebenfalls gleich Null sein. Da man ferner auch $dz_{13}$ gleich Null setzen kann (p. 603), so sind nur die Differentialquotienten $Q_{11}$, $Q_{22}$ und $Q_{33}$ zu berechnen. Das Schema 2 vereinfacht sich also insofern, als die vierte und sechste Verticalreihe vollständig und von der fünften Verticalreihe die unteren 10 Zahlen fortfallen. Ferner enthält die zur Controlle hinzugefügte fünfte (früher siebente) Verticalreihe nur die Summe der ersten drei Zahlen derselben Horizontalreihe.

## §. 3. Transformation der Indices und der Axenelemente.

Die Transformation der Indices und der Axenelemente lässt sich ebenfalls aus der für das trikline System (II, §. 4) abgeleiteten herleiten, und zwar lassen sich dabei wieder die beiden Hauptfälle unterscheiden.

**A.** Sind nur von einer Fläche ausserhalb der Zone der Symmetrieaxe die alten und neuen Indices gegeben, so müssen dieselben noch mindestens für zwei Flächen aus der Zone der Symmetrieaxe gegeben sein, die nicht in der durch die erste Fläche und die Symmetrieebene bestimmten Zone liegen. Man hat also gegeben:

| | alte Indices: | | | neue Indices: | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $N_1$ | $\lambda_{11}$ | $\lambda_{12}$ | $\lambda_{13}$ | $l_{11}$ | $l_{12}$ | $l_{13}$ |
| $P_2$ | $\lambda_{21}$ | 0 | $\lambda_{23}$ | $l_{21}$ | 0 | $l_{23}$ |
| $P_3$ | $\lambda_{31}$ | 0 | $\lambda_{33}$ | $l_{31}$ | 0 | $l_{33}$ |
| $N_0$ | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Es ergiebt sich daraus für $p = 1, 2, 3$:

$$\Delta_p = \Delta_{p2} \quad , \quad L_p = L_{p2}.$$

Setzt man diese Werthe in (II, 18) ein, so folgt:

(19) $$r_{qi} \doteq \sum_1^3 p \, l_{pi} \Delta_{pq} \cdot L_{p2} / \Delta_{p2}.$$

Analog findet man aus (II, 19):

(20) $$R_{hk} \doteq \sum_1^3 p \, \lambda_{ph} \cdot L_{pk} \cdot \Delta_{p2} / L_{p2}.$$

Digitized by Google

Für $q = 2$ resp. $k = 2$ folgt hieraus unmittelbar:

$$r_{21} = r_{23} = 0 \qquad r_{22} = l_{12} L_{12}$$
$$R_{12} = R_{32} = 0 \qquad R_{22} = \lambda_{12} \Delta_{12}.$$

Die Gleichungen (II, 20) bis (II, 27) gelten hier ebenso, wie beim triklinen System.

**B.** Es sind die alten und neuen Indices zweier Flächen ausserhalb der Zone der Symmetrieaxe, die nicht mit der Symmetrieebene in einer Zone liegen, gegeben. Es sind dann bekannt:

| | alte Indices: | | | neue Indices: | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $N_1$ | $\lambda_{11}$ | $\lambda_{12}$ | $\lambda_{13}$ | $l_{11}$ | $l_{12}$ | $l_{13}$ |
| $N_2$ | $\lambda_{21}$ | $\lambda_{22}$ | $\lambda_{23}$ | $l_{21}$ | $l_{22}$ | $l_{23}$ |
| $N_3$ ($\pi_2$) | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| $N_4$ ($P_2$) | $\lambda_{21}$ | 0 | $\lambda_{23}$ | $l_{21}$ | 0 | $l_{23}$ |
| $N_5$ ($P_1$) | $\lambda_{11}$ | 0 | $\lambda_{13}$ | $l_{11}$ | 0 | $l_{13}$. |

Man muss also in (II, 28) setzen:

$$\mu_{42} = 1 \;,\; \mu_{43} = -\lambda_{22} \qquad m_{42} = 1 \;,\; m_{43} = -l_{22}$$
$$\mu_{51} = 1 \;,\; \mu_{53} = -\lambda_{12} \qquad m_{51} = 1 \;,\; m_{53} = -l_{12}.$$

und erhält so:

$$L_1/\Delta_1 = l_{22}/\lambda_{22}$$
$$L_2/\Delta_2 = l_{12}/\lambda_{12}$$
$$L_3/\Delta_3 = l_{12} l_{22}/\lambda_{12} \lambda_{22}.$$

Da $\lambda_{32} = l_{32} = 1$ ist, kann man also für $p = 1, 2, 3$ die Gleichung aufstellen:

$$L_p/\Delta_p = l_{p+1,2} l_{p+2,2}/\lambda_{p+1,2} \lambda_{p+2,2} \doteq \lambda_{p2}/l_{p2}.$$

Setzt man diese Werthe in (II, 18) und (II, 19) ein, so liefern diese Gleichungen folgende:

(21) $$r_{qi} \doteq \sum_1^3{}^p l_{pi} \Delta_{pq} \cdot \lambda_{p2}/l_{p2}.$$

(22) $$R_{hk} \doteq \sum_1^3{}^p \lambda_{ph} \cdot L_{pk} \cdot l_{p2}/\lambda_{p2}.$$

Da $\Delta_{12} = \Delta_{22} = L_{12} = L_{32} = 0$ ist, so ergiebt sich für q resp. $k = 2$:

$$r_{2i} = l_{3i} \Delta_{32} \lambda_{32}/l_{32} \;,\; r_{21} = r_{23} = 0 \;,\; r_{22} = \Delta_{32}$$
$$R_{h2} = \lambda_{3h} L_{32} l_{32}/\lambda_{32} \;,\; R_{12} = R_{32} = 0 \;,\; R_{32} = L_{32}.$$

Die Gleichungen (II, 20) bis (II, 27) gelten wiederum, wie beim triklinen System.

Digitized by Google

## Kapitel IV.

## Rhombisches System.

### §. 1. Bestimmung der Axenelemente aus gemessenen Flächenwinkeln.

Die Krystalle des rhombischen Systems besitzen drei ungleiche zweizählige Symmetrieaxen, die auf einander senkrecht stehen. Diese wählt man zu krystallographischen Axen. Sind die geometrischen Symmetrieaxen wegen der hemimorphen Ausbildung des Krystalles nicht sämmtlich vorhanden, so sind ihre Richtungen doch physikalisch nachweisbar. Bei dem rhombischen System bilden also die drei Axen mit einander rechte Winkel und es sind nur die beiden Verhältnisse der drei Axeneinheiten zu berechnen. Man muss folglich zwei von einander unabhängige Winkel messen können und es müssen demnach mindestens drei Flächen vorhanden sein. Liegen zwei von diesen in einer Zone, die eine Symmetrieebene in sich enthält, so muss die dritte ausserhalb dieser Zone liegen, da in derselben ein Winkel bekannt ist und nur noch ein unabhängiger Winkel gemessen werden kann.

Willkürlich wählbar sind hier zwei Grössen, nämlich die Verhältnisse der Axeneinheiten, man kann also im Allgemeinen für eine Fläche die Indices beliebig (natürlich mit Rücksicht auf die Lage in einem der durch die krystallographischen Axen bestimmten Oktanten) annehmen.

Ist $N_0$ (Taf. XXI Fig. 6) eine Fläche, die in keiner der Zonen der Symmetrieaxen liegt, so kann man ihre Indices willkürlich wählen. Die Indices der beiden anderen Flächen, die mit dieser zur Berechnung hinzugezogen werden sollen, müssen dann aus dem primären Zonenverband abgeleitet werden können. Es können also nur Flächen derselben Form, zu der $N_0$ gehört, sein oder die Flächen $\pi_1$ $\pi_2$ $\pi_3$ oder Flächen, die in der Zone einer Symmetrieaxe und in der durch $N_0$ und die auf jener senkrecht stehende Symmetrieebene bestimmten Zone liegen. Da die Winkel zwischen einer Fläche $N_0$ und zwei Gegenflächen sich zu 180° ergänzen, so ist es nur nöthig Flächen in Betracht zu ziehen, deren Projection in das Innere des Grundkreises fällt. Es sind also nur die Fälle zu be-



Digitized by Google

trachten, in denen ausser $N_0$ zwei von den Flächen M, P, $\pi$ vorkommen; diese lassen sich aber alle auf den Fall zurückführen, in welchem zwei von den Flächen $\pi$ vorkommen, da

$$\begin{aligned} N_0\,\pi_h &= 90^0 - N_0\,P_h \\ N_0\,\pi_1 &= 90^0 - N_0\,M_1/2 \\ N_0\,\pi_2 &= 90^0 - N_0\,M_2/2 \\ N_0\,\pi_3 &= N_0\,M_3/2 \end{aligned}$$

ist.

Ist zweitens keine Fläche, die in keiner der Zonen der Symmetrieaxen liegt, vorhanden, so müssen wenigstens zwei Flächen in den Zonen zweier verschiedener Symmetrieaxen vorhanden sein. Die von Null verschiedenen Indices dieser Flächen $N_4$ und $N_5$ (Taf. XXII Fig. 7) kann man wieder beliebig wählen. Als dritte Fläche muss nun noch eine aus dem primären Zonenverband abgeleitete hinzutreten. Es kann dieses eine der Flächen $\pi$ oder M oder die Fläche $N_6$ sein. Alle diese Fälle lassen sich darauf zurückführen, dass $N_4$ $N_5$ und $\pi_3$ vorhanden ist.

Ist $\pi_1$ oder $M_5$ vorhanden, so gelten die Gleichungen:

$$\begin{aligned} \pi_3\,N_5 &= 90^0 - \pi_1\,N_5 \\ \pi_3\,N_5 &= M_5\,N_5/2 \\ \cos(\pi_3\,N_4) &= \cos(N_4\,N_5)/\cos(\pi_3\,N_5) \end{aligned}$$

Hierdurch sind die beiden Fälle auf den typischen zurückgeführt; analog geschieht dieses, wenn $\pi_2$ oder $M_4$ vorhanden ist.

Ist ausser $N_4$ und $N_5$ noch $N_6$ vorhanden, so ergiebt sich, wenn man $\cos(N_h\,\pi_k) = \gamma_{hk}$, $\sin(N_h\,\pi_k) = \sigma_{hk}$ setzt:

$$\begin{aligned} \sigma_{46} : \sigma_{62} &= \sigma_{45} : \sigma_{53} \quad \text{oder} \quad \sigma_{46} : \gamma_{34} = \sigma_{56} : \gamma_{35} \\ \sigma_{46}\,\sigma_{35} &= -\gamma_{16}\,\sigma_{45} \qquad\qquad \sigma_{46}\,\gamma_{35} = \sigma_{56}\,\gamma_{34} \\ \sigma_{35}\,\gamma_{16} &= \gamma_{56} \qquad\qquad \gamma_{34}\,\gamma_{35} = \gamma_{45} \end{aligned}$$

Folglich:

$$\sigma_{46}\,\sigma_{35}^2 = -\sigma_{45}\,\gamma_{56} \qquad\qquad \sigma_{46}\,\gamma_{35}^2 = \sigma_{56}\,\gamma_{45}.$$

Aus diesen Gleichungen ergiebt sich der Winkel zwischen $\pi_3$ und $N_5$ und dann aus:

$$\cos(\pi_3\,N_4) = \cos(N_4\,N_5)/\cos(\pi_3\,N_5)$$

der zwischen $\pi_3$ und $N_4$.

Es sind damit alle möglichen Fälle auf zwei Hauptfälle zurückgeführt, die nun behandelt werden sollen.

Es möge hier noch bemerkt werden, dass bei diesem und den folgenden Systemen bei Berechnung der Axeneinheiten

Digitized by Google

nicht auf die allgemeinen Formeln des triklinen Systems zurückgegangen werden soll, da hier die Rechnung wegen der bestimmten Grösse der Axenwinkel an und für sich sehr einfach ist.

**A.** Es sind die Flächen $N_0\,\pi_1$ und $\pi_2$ vorhanden (Fig. 6) und $(N_0\pi_1)$ und $(N_0\pi_2)$ gemessen.

Aus:

$$\gamma_{03}^2 = 1 - \gamma_{01}^2 - \gamma_{02}^2 = -\cos(N_0\pi_1 + N_0\pi_2)\cos(N_0\pi_1 - N_0\pi_2)$$

folgt der Werth von $\gamma_{03}$ und dann aus

$$a_h/f_{0h} \doteq 1/\gamma_{0h}$$
$$a_h \doteq f_{0h}/\gamma_{0h}$$

die Werthe von $a_h$.

**B.** Es sind die Flächen $N_4\,N_5$ und $\pi_3$ vorhanden und $(N_4\pi_3)$ und $(N_5\pi_3)$ gemessen (Fig. 7).

Die Indices von $N_5$ und $N_4$ sind: $f_{51}$, 0, $f_{53}$ und 0, $f_{42}$, $f_{43}$. Es ist also:

$$f_{51}/a_1 : f_{53}/a_3 = \gamma_{51} : \gamma_{53} = \sigma_{53} : \gamma_{53}$$
$$f_{42}/a_2 : f_{43}/a_3 = \gamma_{42} : \gamma_{43} = \sigma_{43} : \gamma_{43}.$$

Folglich:

$$a_1 : a_2 : a_3 = \frac{f_{43}\,f_{51}\,\sigma_{43}\,\gamma_{53}}{f_{42}\,f_{53}\,\gamma_{43}\,\sigma_{53}} : 1 : \frac{f_{43}\,\sigma_{43}}{f_{42}\,\gamma_{43}}.$$

## §. 2. Berechnung der Indices einer Fläche und Berechnung der Axenelemente aus sämmtlichen Winkelbeobachtungen.

Die Berechnung der Indices einer Krystallfläche geschieht nach denselben Methoden, wie beim triklinen System (II, §. 2) und ist auch unter denselben Bedingungen ausführbar und eindeutig. Die Berechnung der S und $\gamma$ ist noch einfacher, als beim monoklinen System, indem

$$z_{12} = z_{23} = z_{31} = 0 \qquad z_{ii} = 1/a_i^2$$
$$S_{mn} = \Sigma_i\, f_{mi}\, f_{ni}/a_i^2$$

ist.

In den speziellen Fällen, in denen solche Winkel gemessen sind, welche die Berechnung der Axeneinheiten bei willkürlicher Wahl der Indices gestatten, kann man die im vorhergehenden Paragraphen abgeleiteten Formeln zur Bestimmung



Digitized by Google

der Indices benutzen, wenn die Axeneinheiten aus anderen Beobachtungen schon berechnet sind.

Bei der Berechnung der Axeneinheiten aus allen Beobachtungen wird man schon bei Berechnung der Grössen S, $q$ und Q die Grösse $z_{22} = 1/a_2^2 = 1$ setzen und dann auch $dz_{22} = 0$ annehmen, so dass man auch für die verbesserte Axeneinheit $a_2$ den Werth 1 sofort erhält. Von den Grössen Q sind dann nur $Q_{11}$ und $Q_{33}$ zu berechnen.

Die numerische Rechnung vereinfacht sich hier noch mehr als beim monoklinen System. Das für dieselbe anzulegende Schema 3 zur Berechnung von S, $\varphi$ und Q ist analog eingerichtet wie Schema 2. Es ist in demselben jedoch die zur Controlle dienende Vertikalreihe fortgelassen (vgl. S. 629).

## §. 3. Transformation der Indices und der Axenelemente.

Die Transformation der Indices kann einerseits durch Vertauschung der krystallographischen Axenebenen unter einander und andererseits durch Wahl einer anderen Einheitsfläche verursacht werden. Da die Vertauschung der Axen nur eine Änderung der Reihenfolge der Indices hervorrufen würde, so soll hier nur der Fall behandelt werden, in welchem die Axen dieselben bleiben, aber die Einheitsfläche anders gewählt wird.

**A.** Die Fläche $N_0$, die die Indices $\lambda_{0i}$ hat, soll durch die Transformation die Indices $l_{0i}$ erhalten. Da die Länge der Abschnitte, die die Fläche $N_0$ auf den Axen macht, vor und nach der Transformation dieselbe ist, erhält man:

$$\overline{a_i}/l_{0i} \doteq a_i/\lambda_{0i}$$

hierdurch sind die neuen Axeneinheiten bestimmt. Eine Fläche, deren Indices vor der Transformation $f_{hi}$ sind, schneidet von den Axen die Stücke $a_i/f_{hi}$ ab. Setzt man für die $a_i$ ihren aus obiger Gleichung folgenden Werth, so werden die Axenabschnitte gleich $\overline{a_i}\,\lambda_{0i}/f_{hi} \cdot l_{0i}$ Die neuen Indices sind also:

$$g_{hi} \doteq f_{hi} \cdot l_{0i}/\lambda_{0i}.$$

**B.** Die Flächen $N_4$ und $N_5$, sollen vor der Transformation die Indices 0, $\lambda_{42}$, $\lambda_{43}$ und $\lambda_{51}$, 0, $\lambda_{53}$ und nach der Transformation die Indices 0, $l_{42}$, $l_{43}$ resp. $l_{51}$, 0, $l_{53}$ haben.

Digitized by Google

## Schema 3.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $f_1^2$<br>$g_1^2$<br>$2 f_1 g_1$<br>$(f_1 + g_1)^2$ | $f_2^2$<br>$g_2^2$<br>$2 f_2 g_2$<br>$(f_2 + g_2)^2$ | $f_3^2$<br>$g_3^2$<br>$2 f_3 g_3$<br>$(f_3 + g_3)^2$ | $1/S_{pp}^0$<br>$1/S_{qq}^0$<br>$1/S_{pq}^0$ | $\lg 1/S_{pp}^0$<br>$\lg 1/S_{qq}^0$<br>$\lg 1/S_{pq}^0$ |
| $z_{11}^0$ | 1 | $z_{33}^0$ | | |
| $z_{11}^0 f_1^2$<br>$z_{11}^0 g_1^2$<br>$2 z_{11}^0 f_1 g_1$<br>$z_{11}^0 (f_1 + g_1)^2$ | $f_2^2$<br>$g_2^2$<br>$2 f_2 g_2$<br>$(f_2 + g_2)^2$ | $z_{33}^0 f_3^2$<br>$z_{33}^0 g_3^2$<br>$2 z_{33} f_3 g_3$<br>$z_{33}^0 (f_3 + g_3)^2$ | $S_{pp}^0$<br>$S_{qq}^0$<br>$2 S_{pq}^0$ | $\lg S_{pp}^0$<br>$\lg S_{qq}^0$<br>$\lg S_{pq}^0$ |
| $f_1^2/S_{pp}^0$<br>$g_1^2/S_{qq}^0$<br>$2 f_1 g_1/S_{pq}^0$ | | $f_3^2/S_{pp}^0$<br>$g_3^2/S_{qq}^0$<br>$2 f_3 g_3/S_{pq}^0$ | $\lg \cos \varphi_{pq}^0$<br>$\varphi_{pq}^0$<br>$\lg \operatorname{cotg} \varphi_{pq}^0$<br>$\lg 0,5$<br>$\lg \operatorname{cotg} \varphi_{pq}^0 \sqrt{p_{pq}}/2$ | $\lg p_{pq}$<br>$\varphi_{pq}' - \varphi_{pq}^0$<br>$\lg \sqrt{p_{pq}}$<br>$\lg (\varphi_{pq}' - \varphi_{pq}^0)$ |
| $D_{11}$<br>$\lg D_{11}$<br>$\lg Q_{11} \sqrt{p_{pq}}$<br>$Q_{11} \sqrt{p_{pq}}$ | | $D_{33}$<br>$\lg D_{33}$<br>$\lg \sqrt{Q_{33}} \sqrt{p_{pq}}$<br>$Q_{33} \sqrt{p_{pq}}$ | | $\lg (\varphi_{pq}' - \varphi_{pq}^0) \sqrt{p_{pq}}$<br>$(\varphi_{pq}' - \varphi_{pq}^0) \sqrt{p_{pq}}$ |
| $\lg d z_{11}$<br>$\lg Q_{11} d z_{11}$<br>$Q_{11} d z_{11}$ | | $\lg d z_{33}$<br>$\lg Q_{33} d z_{33}$<br>$Q_{33} d z_{33}$ | $\varphi_{pq} - \varphi_{pq}^0$ | |



Digitized by Google

Aus Betrachtungen, die den unter A angestellten analog sind, folgt:

$$\frac{a_1}{\lambda_{43}\lambda_{51}} : \frac{a_2}{\lambda_{43}\lambda_{53}} : \frac{a_3}{\lambda_{43}\lambda_{53}} = \frac{\overline{a_1}}{l_{43}l_{51}} : \frac{\overline{a_2}}{l_{43}l_{53}} : \frac{\overline{a_3}}{l_{43}l_{53}}.$$

Die neuen Indices $g_{h1}$ einer Fläche, deren alte Indices $f_{h1}$ sind, ergeben sich dann in folgender Form:

$$g_{h1} = f_{h1} \cdot l_{51}/\lambda_{51} \cdot \lambda_{53}/l_{53}$$
$$g_{h2} = f_{h2} \cdot l_{43}/\lambda_{43} \cdot \lambda_{43}/l_{43}$$
$$g_{h3} = f_{h3}.$$

## Kapitel V.

### Tetragonales System.

#### §. 1. Bestimmung der Axenelemente aus gemessenen Flächenwinkeln.

Die Krystalle des tetragonalen Systems besitzen zwei auf einander senkrecht stehende zweizählige gleiche Symmetrieaxen[1] und eine zu diesen beiden senkrechte Hauptaxe, die vier- oder auch zweizählig ist. Diese drei Axen wählt man zu krystallographischen Axen. Da also die Axenwinkel bestimmt sind und da ferner die beiden Axeneinheiten auf den beiden ersten Axen ($a_1$ und $a_2$) gleich sein müssen, so ist nur das Verhältniss dieser zu der dritten Axeneinheit, also nur eine Grösse zu berechnen. Es genügt hierzu die Beobachtung eines Winkels zwischen Flächen, deren Indices bekannt sind. Andererseits ist aber auch für die Wahl der Indices einer Fläche nur eine willkürliche Grösse verfügbar,

[1] Es ist hierbei auf die hemimorphe Ausbildung keine Rücksicht genommen, da man, sobald es nur auf Berechnung der Krystalle ankommt, die Gegenflächen sich hinzudenken kann. Ferner ist die Abtheilung der pyramidal hemiëdrischen Krystalle nicht berücksichtigt worden. Diese sind durch eine vierzählige Symmetrieaxe und eine dazu senkrechte Symmetrieebene charakterisirt. Zu jeder in der Basis liegenden möglichen Kante existirt dann eine gleichfalls in der Basis liegende senkrechte Kante und man kann ein beliebiges Paar von diesen als primäre Nebenaxen annehmen. Bei den sphenoidisch-tetartoëdrischen Krystallen ist die Hauptaxe zweizählig geworden und die Symmetrieebene fortgefallen. Aber es sind doch in der auf der Hauptaxe senkrechten Ebene unendlich viele Paare von möglichen Kanten, die auf einander senkrecht stehen, und von denen man ein beliebiges als primäre Nebenaxen wählen kann.

Digitized by Google

so dass man also der Fläche einer ditetragonalen Pyramide nicht mehr vollständig willkürliche Indices geben kann.

Der Winkel zwischen zwei Flächen aus der Zone der Hauptaxe und der Winkel zwischen einer solchen Fläche und der Basis, kann nicht zur Berechnung des Axenverhältnisses benutzt werden (I, §. 5). Es muss also wenigstens eine Fläche ausserhalb dieser Zone vorhanden sein, die nicht mit der Basis zusammenfällt.

Gehört diese vorhandene Fläche einer ersten oder zweiten Pyramide an, so kann man ihre Indices (h h l) resp. (h 0 l) willkürlich wählen. Die Indices der zweiten vorhandenen und zur Berechnung benutzten Fläche müssen dann aber aus dem primären Zonenverband bestimmt sein (Taf. XXII Fig. 8).

Ist die Fläche $N_0$ einer primären Pyramide mit den Indices (h h l) vorhanden, so muss die zweite Fläche eine Fläche $\pi$ oder M oder $P_1$, $P_2$ und $P_3$ sein. In allen diesen Fällen lässt sich leicht ($N_0 \pi_1$) und ($N_0 \pi_3$) berechnen. Ist einer dieser Winkel bekannt, so folgt der andere aus

$$2\gamma_{01}^2 + \gamma_{03}^2 = 1.$$

Die anderen Fälle lassen sich aber hierauf zurückführen, da

$$\begin{aligned} N_0 \pi_1 &= 90^0 - N_0 P_1 = 90^0 - N_0 M_1/2 \\ N_0 \pi_2 &= 90^0 - N_0 P_2 = 90^0 - N_0 M_2/2 \\ N_0 \pi_3 &= 90^0 - N_0 P_3 = N_0 M_3/2 \end{aligned}$$

ist.

Ist die Fläche $P_0$ einer zweiten Pyramide vorhanden, so muss ausserdem $\pi_1$, $\pi_3$ oder eine Fläche Q auftreten. Diese Fälle lassen sich dann darauf zurückführen, dass $P_0 \pi_3$ bekannt ist. Es ist nämlich:

$$\begin{aligned} P_0 \pi_3 &= 90^0 - P_0 \pi_1 = P_0 Q_2/2 \\ \cos^2(P_0 \pi_3) &= \cos(P_0 Q_1) = \cos(P_0 Q_6). \end{aligned}$$

Es kann nun bei diesem System der Fall eintreten, dass eine Fläche mit unbekannten Indices zur Berechnung des Axenverhältnisses benutzt wird und dass man, um die Indices, soweit sie nicht willkürlich sind, mit zu berechnen, noch einen zweiten Winkel beobachtet.

Es sei N (Taf. XXII Fig. 9) die Fläche einer ditetragonalen Pyramide mit den Indices (h k l); dann müssen ausser dieser noch zwei Flächen vorhanden sein, da man zwei Winkel messen soll. Die Indices derselben sollen aus dem primären Zonen-

Digitized by Google

verband folgen. Es können also nur die Flächen $\pi$, P, M, Q und R sein. In allen diesen Fällen lässt sich aus dem gemessenen Winkel einer von den Winkeln $N\pi_1$, $N\pi_2$, $N\pi_3$, $Np_1$, $Np_2$ herleiten, worin $p_1$ die Indices $(1\bar{1}0)$ und $p_2$ die Indices (110) hat. Es ist nämlich:

$$\begin{aligned} N\pi_1 &= 90^0 - NP_1 = 90^0 - NM_1/2 \\ N\pi_2 &= 90^0 - NP_2 = 90^0 - NM_2/2 \\ N\pi_3 &= 90^0 - NP_3 = NM_3/2 \\ Np_1 &= 90^0 - NR_1/2 \\ Np_2 &= 90^0 - NR_2/2 \\ \cos^2(N\pi_3) &= \cos(NQ_1) = \cos(NQ_2). \end{aligned}$$

Sind nun aus den Messungen die beiden Winkel $(Np_1)$ und $(Np_2)$ bekannt, so folgt:

$$\begin{aligned} \cos^2(N\pi_3) &= -\cos(Np_1 + Np_2)\cos(Np_1 - Np_2) \\ \cos(N\pi_1) &= \cos 45^0(\cos(Np_2) + \cos(Np_1)) \\ \cos(N\pi_2) &= \cos 45^0(\cos(Np_2) - \cos(Np_1)) \end{aligned}$$

Sind aus den Messungen $N\pi_3$ und $Np_1$ oder $Np_2$ bekannt, so kann man zuerst $Np_2$ resp. $Np_1$ und dann $N\pi_1$ und $N\pi_2$ berechnen.

Sind die Winkel $Np_1$ und $N\pi_1$ bekannt, oder $Np_2$ und $N\pi_1$, so findet man aus den Gleichungen:

$$\begin{aligned} \cos(Np_1) &= \cos 45^0(\cos(N\pi_1) - \cos(N\pi_2)) \\ \cos(Np_2) &= \cos 45^0(\cos(N\pi_1) + \cos(N\pi_2)) \end{aligned}$$

den Werth von $N\pi_2$ resp. $N\pi_1$ und kann dann auch $N\pi_3$ berechnen. Diese sämmtlichen Fälle lassen sich also darauf zurückführen, dass $N\pi_1$, $N\pi_2$ und $N\pi_3$ bekannt sind.

Es haben sich somit bei diesem System drei Fälle ergeben:

**A. Es ist die Fläche $N_0$ mit den Indices h, h, l vorhanden und $N_0\pi_3$ bekannt (Fig. 8).**

Da $\gamma_{01} = \gamma_{02}$ ist, ergiebt sich:

$$\begin{aligned} \gamma_{01} &= \sigma_{03}/\sqrt{2} \\ h/a_1 : l/a_3 &= \gamma_{01} : \gamma_{03} \\ a_3/a_1 &= l/h \,.\, \sigma_{03}/\gamma_{03} \,.\, 1/\sqrt{2}. \end{aligned}$$

**B. Es ist die Fläche $P_0$ mit den Indices h, 0, l vorhanden und $P_0\pi_3$ bekannt (Fig. 8).**

Es ist dann:

$$\begin{aligned} h/a_1 : l/a_3 &= \gamma_{01} : \gamma_{03} \\ a_3/a_1 &= l/h : \sigma_{03}/\gamma_{03}. \end{aligned}$$

Digitized by Google

C. Es ist die Fläche N mit den Indices h, k, l vorhanden und $N\pi_1$, $N\pi_2$ und $N\pi_3$ bekannt (Fig. 9).

Aus:

$$h/a_1 : k/a_1 : l/a_3 = \gamma_{01} : \gamma_{02} : \gamma_{03}$$

folgt:

$$k = h \cdot \gamma_{02}/\gamma_{01}$$
$$a_3/a_1 = l/h \cdot \gamma_{01}/\gamma_{03}.$$

In allen drei Fällen sind h und l willkürlich.

## §. 2. Bestimmung der Indices einer Fläche und Berechnung der Axenelemente aus sämmtlichen Winkelbeobachtungen.

Die Berechnung der Indices geschieht analog, wie bei dem rhombischen System, nur mit der Modification, dass hier $a_1 = a_2 = 1$ gesetzt wird. Dass hierbei auch Fälle vorkommen können, in denen ein Index mit dem Axenverhältniss zugleich berechnet werden muss, ist schon im vorigen Paragraphen hervorgehoben und sind diese Fälle dort als Fall C behandelt. Die in demselben abgeleiteten Formeln können zur Berechnung der Indices benutzt werden, wenn die Axenverhältnisse aus anderen Beobachtungen bestimmt sind.

Bei der Berechnung des Axenverhältnisses nach der Methode der kleinsten Quadrate ist auch $dz_{11} = 0$ zu setzen, so dass man also ausser $\varphi_0$ nur $Q_{33}$ zu berechnen hat. Im Übrigen ist auch diese Rechnung der entsprechenden beim rhombischen System analog.

## §. 3. Transformation der Indices und der Axenelemente.

Die Transformation der Indices kann verursacht werden durch eine Vertauschung der beiden gleichwerthigen Axen oder durch eine Vertauschung dieser mit den secundären Nebenaxen[1] (d. h. mit den Linien, die die Winkel, welche die primären Nebenaxen mit einander bilden, halbiren) oder endlich

[1] Bei den pyramidal-hemiëdrischen und den sphenoidisch-tetartoëdrischen Krystallen kann man ein beliebiges Paar von in der Basis liegenden und auf einander senkrecht stehenden Kanten zu krystallographischen Axen wählen. Es mögen die neuen Axen mit den alten Axen $\pi_1$ und $\pi_2$ den Winkel $\varphi$ bilden. Die Stücke, welche eine Fläche, deren alte Indices $(\lambda_{01}\ \lambda_{02}\ \lambda_3)$ sind, von den neuen Axen abschneidet, verhalten sich wie $a_1/(\lambda_{01}\cos\varphi - \lambda_{02}\sin\varphi) : a_1/(\lambda_{01}\sin\varphi + \lambda_{02}\cos\varphi) : a_3/\lambda_{03}$. Sind die neuen

Digitized by Google

durch eine andere Wahl der primären Pyramide. Die erste Vertauschung führt nur zu einer Vertauschung der beiden ersten Indices und soll daher nicht weiter berücksichtigt werden. Man wird also hier auf zwei verschiedene Fälle geführt, je nachdem nur die Wahl der ersten Pyramide geändert wird oder auch die primären und secundären Nebenaxen vertauscht werden.

**A.** Die Axen bleiben dieselben und die Fläche mit den Indices $\lambda_{01}$, $\lambda_{02}$, $\lambda_{03}$ soll die Indices $\lambda_{01}$, $\lambda_{02}$, $l_{03}$ erhalten.

Es ist dann:

$$a_1/\lambda_{01} : a_3/\lambda_{03} = \overline{a_1}/\lambda_{01} : \overline{a_3}/l_{03}$$
$$\overline{a_3}/\overline{a_1} = a_3/a_1 \,.\, l_{03}/\lambda_{03}.$$

Eine Fläche mit den Indices $f_{h1}$, $f_{h2}$, $f_{h3}$ erhält dann die Indices: $f_{h1}$, $f_{h2}$, $f_{h3} \,.\, l_{03}/\lambda_{03}$.

**B.** Eine Fläche, deren Indices $\lambda_{01}$, $\lambda_{02}$, $\lambda_{03}$ sind, schneidet von den secundären Nebenaxen und der Hauptaxe Stücke ab, die sich verhalten wie: $a_1 \sqrt{2}/(\lambda_{01} - \lambda_{02}) : a_1 \sqrt{2}/(\lambda_{01} + \lambda_{02}) : a_3/\lambda_{03}$.

Sollen nun die neuen Indices der Fläche $\lambda_{01} - \lambda_{02}$, $\lambda_{01} + \lambda_{02}$, $l_{03}$ sein, so verhalten sich die Axenabschnitte wie: $\overline{a_1}/(\lambda_{01} - \lambda_{02}) : \overline{a_1}/(\lambda_{01} + \lambda_{02}) : \overline{a_3}/l_{03}$. Hieraus folgt:

$$\overline{a_3}/\overline{a_1} = a_3/a_1 \,.\, l_{03}/\lambda_{03} \,.\, 1/\sqrt{2}.$$

Eine Fläche mit den Indices $f_{h1}$, $f_{h2}$, $f_{h3}$ nimmt die Indices: $f_{h1} - f_{h2}$, $f_{h1} + f_{h2}$, $f_{h3} \,.\, l_{03}/\lambda_{03}$ an.

## Kapitel VI.

### Hexagonales System.

### §. 1. Bestimmung der Axenelemente aus gemessenen Flächenwinkeln.

Die Krystalle des hexagonalen Systems besitzen drei gleiche, in einer Ebene liegende, zweizählige Symmetrie-

---

Indices dieser Fläche ($l_{01}\, l_{02}\, l_{03}$), so verhalten sich diese Stücke wie $\overline{a_1}/l_{01} : \overline{a_1}/l_{02} : \overline{a_3}/l_{03}$. Also ist:

$$\operatorname{tg}\varphi = (\lambda_{01}\, l_{02} - \lambda_{02}\, l_{01})/(\lambda_{01}\, l_{01} + \lambda_{02}\, l_{02})$$
$$\overline{a_3}/\overline{a_1} = a_3/a_1 \,.\, \cos\varphi \,.\, l_{03}/\lambda_{03} \,.\, (\lambda_{01}^2 + \lambda_{02}^2)/(l_{01}^2 + l_{02}^2).$$

Eine Fläche, die die Indices $f_{h1}\, f_{h2}\, f_{h3}$ hat, erhält dann die Indices:

$f_{h1} - f_{h2} \operatorname{tg}\varphi$ , $f_{h1} \operatorname{tg}\varphi + f_{h2}$ , $f_{h3} \,.\, l_{03}/\lambda_{03} \,.\, (\lambda_{01}^2 + \lambda_{02}^2)/(l_{01}^2 + l_{02}^2)$.

Digitized by Google

axen[1], die mit einander Winkel von 120° bilden und eine dazu senkrechte sechs- oder dreizählige Hauptaxe. Diese vier Axen werden zu krystallographischen Axen gewählt und bei der Bezeichnung der Flächen in der Regel die auf die vier Axen bezüglichen Indices geschrieben, von denen dann die Summe der drei ersten auf die Nebenaxen bezüglichen Indices gleich Null ist. Für die Berechnung ist der dritte Index indessen zwecklos und es sollen deshalb hier nur die beiden ersten und der letzte, auf die Hauptaxe bezügliche Index geschrieben werden. Man hat nun $\pi_1 \pi_2 = 120^0$, $\pi_2 \pi_3 = \pi_3 \pi_1 = 90^0$. Da auch $a_1 = a_2$ sein muss, so ist bei diesem System, wie beim tetragonalen, nur eine Grösse durch Berechnung zu bestimmen. Es ist also auch nur ein Winkel zwischen Flächen, deren Indices man kennt, zu messen.

Da man aber auch nur eine Grösse willkürlich wählen darf, so kann eine Fläche einer dihexagonalen Pyramide nicht willkürlich symbolisirt werden. Es muss nun wenigstens eine Fläche ausserhalb der Zone der Hauptaxe vorhanden sein, die nicht mit der Basis zusammenfällt. Ist diese Fläche zu einer ersten oder zweiten Pyramide gehörig, so kann man die Indices derselben (h0l) resp. (hhl) beliebig wählen. Die Indices der zweiten, noch zur Messung und Berechnung benutzten Fläche müssen sich dann aus dem primären Zonenverband ergeben. Es können dieses im Allgemeinen nur Flächen derselben Form oder die Flächen $\pi$ oder p sein. Die Indices von $p_1$ sind (100), von $p_2$ ($1\bar{1}0$) und von $p_3$ (010).

Ist die Fläche einer primären Pyramide $N_0$ vorhanden, so kann man aus jedem Winkel, den man messen kann, den Winkel $N_0 \pi_3$ berechnen, denn es ist (Taf. XXII Fig. 10):

$$N_0 M_1/_2 = 90^0 - N_0 p_2 \qquad \cos N_0 \pi_1 = \cos N_0 \pi' = \sin N_0 \pi_3 \cdot \cos 30^0$$
$$N_0 M_3/_2 = 90^0 - N_0 \pi_1 \qquad N_0 p_1 = 90^0 - N_0 \pi_3$$
$$N_0 M_3/_2 = N_0 \pi_3 \qquad \cos N_0 p_2 = \cos N_0 p_3 = \sin N_0 \pi_3 \cos 60^0$$
$$N_0 M_4/_2 = 90^0 - N_0 \pi'$$
$$N_0 M_5/_2 = 90^0 - N_c p_3$$

Ist zweitens die Fläche einer zweiten Pyramide $P_0$ vorhanden, so kann man aus jedem Winkel, den man messen kann, $P_0 \pi_3$ berechnen. Es ist nämlich:

[1] Auch hierbei ist auf die hemimorphe Ausbildung keine Rücksicht genommen. Ferner besitzen die pyramidal-hemiëdrischen Krystalle nur

Digitized by Google

$P_0 Q_1/2 = 90^0 - P_0 \pi_1$ $\quad \cos P_0 \pi_1 = \cos P_0 \pi_2 = \sin P_0 \pi_3 \cdot \cos 60^0$

$P_0 Q_2/2 = 90^0 - P_0 p_1$ $\quad P_0 \pi' = 90^0 - P_0 \pi_3$

$P_0 Q_3/2 = P_0 \pi_3$ $\quad \cos P_0 p_1 = \cos P_0 p_2 = \sin P_0 \pi_3 \cos 30^0$

$P_0 Q_4/2 = 90^0 - P_0 p_2$

$P_0 Q_5/2 = 90^0 - P_0 \pi_2$.

Es ist hier nun wieder der Fall möglich, dass man das Axenverhältniss mit einem Index der Fläche einer dihexagonalen Pyramide zugleich berechnet. Man muss dann zwei Winkel messen. Es sei N die Fläche einer dihexagonalen Pyramide mit den Indices (hkl), dann müssen noch zwei von den Flächen $\pi$, p oder R vorhanden sein. Die Winkel zwischen N und den R lassen sich auf solche zwischen den N und den $\pi$ und p zurückführen, da man die Relationen hat:

$N R_1/2 = N p_2$ $\quad N R_2/2 = N \pi_1$

$N R_5/2 = N p_1$ $\quad N R_7/2 = N \pi'$

$N R_9/2 = N P_3$ $\quad N R_{11}/2 = N \pi_2$

$$\cos N R_3 = \cos N R_{10} = \cos^2 N \pi_3 + \sin^2 N \pi_3 \cos 60^0 = \frac{1}{2} (\cos^2 N \pi_3 + 1)$$

$$\cos N R_4 = \cos N R_9 = \cos^2 N \pi_3 + \sin^2 N \pi_3 \cos 120^0 = \frac{1}{2} (3 \cos^2 N \pi_3 - 1)$$

$$N R_6/2 = N \pi_3.$$

Es sind also immer zwei Winkel bekannt, welche die Fläche N mit den Ebenen p und $\pi$ macht, und da man die gegenseitige Lage dieser Flächen zu einander kennt, kann man die Winkel $N\pi_1$, $N\pi_2$, $N\pi_3$, soweit sie noch nicht gegeben sind, berechnen.

Es lassen sich also bei dem hexagonalen System drei Fälle unterscheiden.

**A. Es ist die Fläche $N_0$ mit den Indices (h0l) vorhanden und $N_0\pi_3$ bekannt.**

Aus:

$$\gamma_{01} = \sigma_{03} \cos 30^0$$

folgt der Werth von $\gamma_{01}$ und da $\gamma_{02} = 0$ ist, ergiebt sich dann:

$$h/a_1 : 0 : l/a_3 = \sigma_{03} \cos 30^0 : 0 : \gamma_{03}$$

$$a_3/a_1 = l/h \cdot \sigma_{03}/\gamma_{03} \cdot \cos 30^0.$$

---

eine sechszählige Hauptaxe und eine dazu senkrechte Symmetrieebene, und die rhomboëdrisch-tetartoëdrischen Krystalle haben nur eine dreizählige Hauptaxe. Bei diesen beiden Abtheilungen kann man immer eine beliebige in der Basis liegende Kante zur krystallographischen Axe wählen und, da in der Basis dann immer zwei andere Kanten möglich sein müssen, die mit der ersten einen Winkel von 120° bilden, so kann man diese dann ebenfalls zu Axen wählen.

Digitized by Google

**B.** Es ist eine Fläche $P_0$ mit den Indices (hhl) vorhanden und $P_0\pi_3$ bekannt.

Da $\gamma_{01} = \gamma_{02} = \sigma_{03} \cos 60^0$ ist, ergiebt sich:

$$h/a_1 : l/a_3 = \sigma_{03} \cos 60^0 : \gamma_{03}$$
$$a_3/a_1 = l/h \,.\, \sigma_{03}/\gamma_{03} \,.\, \cos 60^0.$$

**C.** Es ist eine Fläche N mit den Indices (hkl) vorhanden und $N\pi_1$, $N\pi_2$ und $N\pi_3$ bekannt.

Es ist:

$$h/a_1 = k/a_1 : l/a_3 = \cos N\pi_1 : \cos N\pi_2 : \cos N\pi_3.$$

Hieraus folgt:

$$k = h \,.\, \cos N\pi_2/\cos N\pi_1$$
$$a_3/a_1 = l/h \,.\, \cos N\pi_1/\cos N\pi_3.$$

h und l sind in allen drei Fällen willkürlich wählbar.

## §. 2. Bestimmung der Indices einer Fläche und Berechnung der Axenelemente aus sämmtlichen Winkelbeobachtungen.

Die Berechnung der Indices einer Fläche geschieht nach der allgemeinen, für das trikline System entwickelten Methode. Es ist jedoch dabei zu setzen:

$$c_{12} = \cos 120^0 = -\tfrac{1}{2} \qquad c_{23} = c_{31} = 0$$
$$z_{11} = 1/a_1^2 \qquad z_{23} = 0$$
$$z_{22} = 1/a_1^2 \qquad z_{31} = 0$$
$$z_{33} = 3/4 \,.\, 1/a_3^2 \qquad z_{12} = 1/2 \,.\, 1/a_1^2$$

$$S_{pq} = \frac{f_{p1} f_{q1} + f_{p2} f_{q2} + \frac{1}{2}(f_{p1} f_{q2} + f_{q1} f_{p2})}{a_1^2} + \frac{3}{4} \frac{f_{p3} f_{q3}}{a_3^2}$$

Dass auch hier der Fall vorkommen kann, dass man einen Index mit dem Axenverhältniss zugleich bestimmen muss, ist im vorigen Paragraphen schon hervorgehoben. Sind ferner in speciellen Fällen solche Winkel gemessen, aus denen das Axenverhältniss bei bekannten Indices bestimmt werden kann, so kann man die betreffenden Formeln zur Berechnung der Indices benutzen, wenn das Axenverhältniss bekannt ist.

Bei der Berechnung des Axenverhältnisses nach der Methode der kleinsten Quadrate wird, wenn man $a_1 = 1$, $dz_{22} = 0$ annimmt, auch $dz_{11} = dz_{12} = 0$, so dass man also nur $Q_{33}$ ausser $\varphi^0$ zu berechnen hat. Die Rechnung würde also nach Schema 4 zu führen sein (vgl. p. 638).

Digitized by Google

**Schema 4.**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $f_3^2$<br>$g_3^2$<br>$2 f_3 g_3$<br>$(f_3 + g_3)^2$ | $1/S_{pp}^0$<br>$1/S_{qq}^0$<br>$1/S_{pq}^0$ | $\lg S1/_{pp}^0$<br>$\lg S1/_{qq}^0$<br>$\lg S1/_{pq}^0$ |
| | | $\frac{3}{4}\ 1/a_3^2$ | | |
| $f_1^2 + f_2^2$<br>$g_1^2 + g_2^2$<br>$2(f_1 g_1 + f_2 g_2)$<br>$(f_1 + g_1)^2 + (f_2 + g_2)^2$ | $f_1 f_2$<br>$g_1 g_2$<br>$f_1 g_2 + f_2 g_1$<br>$(f_1 + g_1)(f_2 + g_2)$ | $\frac{3}{4} f_3^2/a_3^2$<br>$\frac{3}{4} g_3^2/a_3^2$<br>$\frac{3}{4}\ 2 f_3 g_3/a_3^2$<br>$\frac{3}{4}(f_3 + g_3)^2/a_3^2$ | $S_{pp}^0$<br>$S_{qq}^0$<br>$2 S_{pq}^0$ | $\lg S_{pp}^0$<br>$\lg S_{qq}^0$<br>$\lg S_{pq}^0$ |
| | | $f_3^2/S_{pp}^0$<br>$g_3^2/S_{qq}^0$<br>$2 f_3 g_3/S_{pq}^0$ | $\lg \cos \varphi_{pq}^0$<br>$\varphi_{pq}^0$<br>$\lg \operatorname{cotg} \varphi_{pq}^0$ | $\lg p_{pq}$<br>$\varphi_{pq}' - \varphi_{pq}^0$<br>$\lg \sqrt{p_{pq}}$ |
| | | $D_{33}$<br>$\lg D_{33}$<br>$\lg Q_{33} \sqrt{p_{pq}}$<br>$Q_{33} \sqrt{p_{pq}}$ | $\lg 0,\ 5$<br>$\lg \operatorname{cotg} \varphi_{pq}^0 \sqrt{p_{pq}}/2$ | $\lg (\varphi_{pq}' - \varphi_{pq}^0)$<br>$\lg (\varphi_{pq}' - \varphi_{pq}^0) \sqrt{p_{pq}}$<br>$(\varphi_{pq}' - \varphi_{pq}^0) \sqrt{p_{pq}}$ |
| | | $\lg d z_{33}$<br>$\lg Q_{33}\, d z_{33}$<br>$Q_{33}\, d z_{33} =$ | $\varphi_{pq} - \varphi_{pq}^0$ | |

Digitized by Google

## §. 3. Transformation der Indices und der Axenelemente.

Die Transformation der Indices kann hier durch dieselben Gründe verursacht werden, wie beim tetragonalen System. Man kommt daher auch hier auf zwei[1] Fälle:

**A.** die Axen bleiben dieselben und die Fläche mit den Indices $\lambda_{01}\ \lambda_{02}\ \lambda_{03}$ soll die Indices $\lambda_{01}\ \lambda_{02}\ l_{03}$ annehmen.

Es folgt hier ebenfalls:

$$\overline{a_3}/\overline{a_1} = a_3/a_1 \cdot l_{03}/\lambda_{03}$$

und eine Fläche mit den Indices $f_{h1}$, $f_{h2}$, $f_{h3}$ erhält die Indices: $f_{h1}$, $f_{h2}$, $f_{h3} \cdot l_{03}/\lambda_{03}$.

**B.** Die primären und secundären Nebenaxen sollen vertauscht werden und statt des dritten Index $\lambda_{03}$ einer Fläche der Index $l_{03}$ auftreten.

Eine Fläche mit den Indices $\lambda_{01}\ \lambda_{02}\ \lambda_{03}$ schneidet von zwei secundären Nebenaxen, die den Winkel 120° mit einander bilden, und der Hauptaxe Stücke ab, die sich verhalten wie: $a_1\sqrt{3}/(\lambda_{01} - \lambda_{02})$: $a_1\sqrt{3}/(\lambda_{01} + 2\lambda_{02})$: $a_3/\lambda_{03}$.

Sollen die Indices der Fläche nach der Transformation

---

[1] Bei den pyramidal-hemiëdrischen und den rhomboëdrisch-tetartoëdrischen Krystallen kann man drei beliebige, in der Basis liegende Kantenrichtungen, die mit einander Winkel von 120° bilden, zu Nebenaxen wählen. Es mögen diese mit den ursprünglichen Nebenaxen den Winkel $\varphi$ bilden. Die Stücke, welche eine Fläche mit den alten Indices $(\lambda_{01}\ \lambda_{02}\ \lambda_{03})$ auf zweien der neuen Nebenaxen und der Hauptaxe abschneidet, verhalten sich dann

$$\frac{a_1\sqrt{3}}{\lambda_{01}\sqrt{3}\cos\varphi - (\lambda_{01} + 2\lambda_{02})\sin\varphi} : \frac{a_1\sqrt{3}}{\lambda_{02}\sqrt{3}\cos\varphi + (2\lambda_{01} + \lambda_{02})\sin\varphi} : \frac{a_3}{\lambda_{03}}.$$

Sind nun die neuen Indices der Fläche $l_{01}$, $l_{02}$, $l_{03}$, so verhalten sich die Stücke wie: $\overline{a_1}/l_{01} : \overline{a_1}/l_{02} : \overline{a_3}/l_{03}$. Hieraus folgt:

$$\operatorname{tg}\varphi = \sqrt{3}\,\frac{\lambda_{01}\,l_{02} - \lambda_{02}\,l_{01}}{(2\lambda_{01} + \lambda_{02})\,l_{01} + (\lambda_{01} + 2\lambda_{02})\,l_{02}}$$

$$\overline{a_3}/\overline{a_1} = a_3/a_1 \cdot l_{03}/\lambda_{03} \cdot \cos\varphi\,\frac{2(\lambda_{01}^2 + \lambda_{01}\lambda_{02} + \lambda_{02}^2)}{(2\lambda_{01} + \lambda_{02})\,l_{01} + (\lambda_{01} + 2l_{02})\,l_{02}}.$$

Eine Fläche mit den Indices $f_{h1}$, $f_{h2}$, $f_{h3}$ erhält die neuen Indices:

$$f_{h1} - (f_{h1} + f_{h2})\operatorname{tg}\varphi/\sqrt{3}\ ,\quad f_{01} + (2f_{01} + f_{02})\operatorname{tg}\varphi/\sqrt{3}\ ,$$
$$f_{h3} \cdot l_{03}/\lambda_{03} \cdot \frac{2(\lambda_{01}^2 + \lambda_{01}\lambda_{02} + \lambda_{02}^2)}{(2\lambda_{01} + \lambda_{02})\,l_{01} + (\lambda_{01} + 2\lambda_{02})\,l_{02}}.$$

Digitized by Google

$\lambda_{01} - \lambda_{02}$, $\lambda_{01} + 2\lambda_{02}$, $l_{03}$ sein, so verhalten sich die Stücke wie: $\overline{a_1}/(\lambda_{01} - \lambda_{02}) : \overline{a_1}/(\lambda_{01} + 2\lambda_{02}) : \overline{a_3}/l_{03}$.

Es ist also:

$$\overline{a_3}/\overline{a_1} = a_3/a_1 \,.\, l_{03}/\lambda_{03} \,.\, 1/\sqrt{3}.$$

Eine Fläche mit den Indices $f_{h1}$, $f_{h2}$, $f_{h3}$ erhält dann die Indices: $f_{h1} - f_{h2}$, $f_{h1} + 2 f_{h2}$, $f_{h3} \,.\, l_{03}/\lambda_{03}$.

## Kapitel VII.

### Reguläres System.

Die Krystalle des regulären Systems besitzen drei auf einander senkrecht stehende, mindestens zweizählige gleiche Symmetrieaxen. Diese werden zu krystallographischen Axen gewählt und, da auch die Axeneinheiten gleich sein müssen, so sind hier alle Axenelemente von vorn herein bestimmt und es handelt sich nur darum, die Indices der auftretenden Flächen festzustellen. Im Allgemeinen kann dieses nach der bei dem triklinen System behandelten Methode geschehen, wobei dann

$$S_{pq} = \sum_{1}^{3} i \, f_{pi} \, f_{qi}$$

zu setzen ist. Um jedoch die Indices der ersten Flächen, von denen man weiter fortschreiten will, zu bestimmen, muss man noch besondere Überlegungen anstellen.

Treten die Formen (100), (110), oder (111) auf, so ist für diese kein Index zu berechnen. Wenn man nach dem Augenschein gewisse Flächen für Flächen dieser Formen hält, so kann man sich nur durch Messen der betreffenden Winkel und Vergleich der gemessenen Winkel mit den berechneten von der Richtigkeit der Voraussetzung überzeugen.

Treten die Flächen der Formen (h h l), (h l l) oder (h k 0), worin $h > k > l$ ist, auf, so genügt die Messung eines Winkels, den eine Fläche dieser Formen mit einer Fläche derselben Form oder der Formen (100), (110) und (111) bildet, da sich die ersteren Winkel auf die letzteren zurückführen lassen, wie aus dem nächsten allgemeinsten Fall hervorgeht, und da zweitens immer eine Zone bekannt ist, in der diese Flächen liegen.

Sollen die Indices einer Fläche eines Hexakisoktaëders (h k l) bestimmt werden, so müssen zwei Winkel gegen die

Digitized by Google

Flächen der einfachsten Grundformen oder gegen Flächen desselben Hexakisoktaëders gemessen werden. Diese letzteren Winkel lassen sich nämlich leicht auf die Winkel gegen die einfachsten Grundformen zurückführen, da folgende Relationen bestehen (Taf. XXII Fig. 11).

$$N M_1/2 = 90^0 - N\pi_1 \qquad N P_1/2 = 90^0 - N p_1 \qquad N P_4/2 = N p_4$$
$$N M_2/2 = 90^0 - N\pi_2 \qquad N P_2/2 = 90^0 - N p_2 \qquad N P_5/2 = N p_5 - 90^0$$
$$M M_3/2 = N\pi_3 \qquad N P_3/2 = N p_3 \qquad N P_6/2 = N p_6 - 90^0$$

$$\cos N Q_1 = \cos N Q_2 = \cos^2 N\pi_3$$
$$\cos N Q_3 = -\cos N Q_5 = \cos^2 N\pi_1$$
$$\cos N Q_4 = -\cos N Q_6 = \cos N\pi_2$$
$$\cos N R_1 = \cos N R_2 = \cos^2 N o_1 + \sin^2 N o_1 \cos 120^0$$
$$\cos N R_3 = -\cos N R_5 = \cos^2 N o_2 + \sin^2 N o_2 \cos 120^0$$
$$\cos N R_4 = -\cos N R_6 = \cos^2 N o_3 + \sin^2 N o_3 \cos 120^0$$
$$-\cos N R_7 = -\cos N R_8 = \cos^2 N o_4 + \sin^2 N o_4 \cos 120^0$$

Man kann also wenn zwei Winkel gemessen sind, die von einander unabhängig sind, zwei Winkel finden, welche die Fläche mit den Flächen $\pi$, p oder o macht und daraus die Indices berechnen.

Nach Berechnung der Indices ist hier nur noch eine Berechnung aller gemessenen Winkel und ein Vergleich der berechneten Werthe mit den gemessenen auszuführen. Eine Transformation der Indices ist nicht möglich, da nur die Axen mit einander vertauscht werden können, was nur eine Änderung der Reihenfolge der Indices zur Folge haben würde.

## Kapitel VIII.

## Zwillingskrystalle.

### §. 1. Berechnung der Indices der Zwillingsebene und der Zwillingsaxe.

Die Berechnung der Indices der Zwillingsebene $N_w$ (Taf. XXII Fig. 12) kann nach denselben Methoden und unter denselben Umständen ausgeführt werden, unter denen die Indices einer Krystallfläche bei den Krystallen des triklinen Systems bestimmt werden können. Um den Winkel der Zwillingsebene gegen eine Krystallfläche zu bestimmen, muss letztere an beiden Individuen ausgebildet sein. Misst man dann den Winkel zwischen den beiden Flächen $N_p$ und $N_p'$, so ist die Hälfte des gemessenen Winkels gleich dem Winkel $N_p N_w$. Liegt die



Digitized by Google

Zwillingsebene in einer Zone des einen Individuums $N_q\ N_r$, so fällt dieselbe Zone des zweiten Individuums $N_q'\ N_r'$ mit der des ersten zusammen. Die Lage der Zwillingsfläche in einer Zone ist also ohne Weiteres bei den Beobachtungen mit dem Goniometer durch das Zusammenfallen dieser Zonen bei beiden Individuen zu bemerken.

Sind die Indices der Zwillingsebene bestimmt, so ergeben sich die Indices der Zwillingsaxe aus den Gleichungen (I, 23).

## §. 2. Berechnung der Indices der Flächen des zweiten Individuums in Bezug auf das Axensystem des ersten Individuums.

Behufs Zeichnung von Zwillingskrystallen ist es wünschenswerth die Indices der Flächen des einen Individuums bezogen auf die Axen des anderen Individuums zu kennen. Es seien $f_{wi}$ die Indices der Zwillingsebene $N_w$ und $f_{hi}$ die einer beliebigen Fläche $N_h$ des ersten Individuums. Die entsprechende Fläche des zweiten Individuums $N_h'$ möge dann in Bezug auf das Axensystem des ersten Individuums die Indices $f_h'_i$ besitzen.

Da $N_h$, $N_w$ und $N_h'$ in einer Zone liegen, muss sein:

$$f_h'_i \doteq m f_{wi} - n f_{hi}.$$

Da ferner $\varphi_{h'w} = \varphi_{hw}$ ist, folgt:

$$S_{hw} \sqrt{S_{h'h'}} = S_{h'w} \sqrt{S_{hh}}.$$

Es ist nun aber:

$$S_{h'w} = \sum_1^3 i \sum_1^3 k\, z_{ik} (m f_{wi} - n f_{hi}) f_{wk} = m S_{ww} - n S_{hw}$$

$$S_{h'h'} = \sum_1^3 i \sum_1^3 k\, z_{ik} (m f_{wi} - n f_{hi})(m f_{wk} - n f_{hk}) = m^2 S_{ww} - 2mn S_{hw} + n^2 S_{hh}$$

Setzt man diese Werthe in obige Gleichung ein und quadrirt dieselbe, so ergiebt sich:

$$S_{hw}^2 (m^2 S_{ww} - 2mn S_{hw} + n^2 S_{hh}) = S_{hh} (m^2 S_{ww}^2 - 2mn S_{ww} S_{hw} + n^2 S_{hw}^2)$$

oder

$$m (S_{hw}^2 - S_{hh} S_{ww}) (m S_{ww} - 2n S_{hw}) = 0.$$

Der Werth $m = 0$ liefert die Gegenfläche von $N_h$; also liefert nur der letzte Faktor einen brauchbaren Werth und zwar:

$$m/n = 2 S_{hw}/S_{ww}.$$

Es folgt also

$$f_h'_i \doteq 2 S_{hw} f_{wi} - S_{ww} f_{hi}.$$

Königsberg in Pr., Januar 1887.

Digitized by Google

# Die Contacterscheinungen am Granit der Reuth bei Gefrees.

Von

**Rudolf Rüdemann** aus Coburg.

Mit Taf. XXIII und 4 Holzschnitten.

---

Der Ursprung des Granites und die Bildung der mit demselben zusammen auftretenden Contactgesteine sind Probleme, über deren Lösung einerseits noch weite Meinungsdifferenzen herrschen, die aber auch andererseits nicht getrennt zu lösen sind. Worin besteht die Contactmetamorphose? und genügen allein physikalische Agentien, um dieselbe zu erzeugen? das sind eng verbundene, viel behandelte Fragen, die vorläufig, da directe Experimente noch nicht angestellt werden konnten, nur durch sorgfältige Untersuchung möglichst vieler Contactgebiete ihrer Lösung näher gebracht werden können. Und zwar sind dabei vor allem solche Contactareale ins Auge zu fassen, in denen verschiedene Gesteinsarten in den Contacthof eintreten, da eine vergleichende Untersuchung von Contactmetamorphosen, denen verschiedenartige Gesteine unterlagen, besonders geeignet ist, jene Fragen zu entscheiden. Man hat dann gewissermassen ein Reagens, das zu gleicher Zeit auf verschiedene Stoffe einwirkt und durch die verschiedene Wirkung, die es hervorbringt, seine eigene Art erkennen lässt.

Eine günstige Gelegenheit, eine Reihe verschiedenartiger, durch Contact veränderter Gesteine zu untersuchen, bot sich dem Verfasser in der Reuth bei Gefrees, der berühmten Fundstätte der Chiastolithe.



Digitized by Google

Bereits Fr. Naumann (Lehrbuch der Geognosie, Bd. II, pg. 755) sah die längs der Waldstein- und Schneebergkette streichenden sogenannten „Fleckglimmerschiefer" als durch Granit metamorphosirte Gesteine an. Eine neuere Untersuchung dieser Granitmassive und ihrer Umgebung wurde dann von v. Gümbel in der „geognostischen Beschreibung des Fichtelgebirges" gegeben. Jedoch war in einer so weit umfassenden Arbeit, wie es diese geognostische Untersuchung des Fichtelgebirges ist, ein derartig eingehendes Studium der Granitcontacte, als es zur Erklärung der metamorphischen Processe nöthig ist, ausgeschlossen.

Ein vierzehntägiger Aufenthalt des Verfassers in Gefrees im September 1886 war nun der speciellen Untersuchung dieser Contactverhältnisse gewidmet. Es wurde dazu einer der kleinsten Granitstöcke, der der Reuth gewählt, weil sich dort einestheils die Verhältnisse am besten übersehen liessen, anderntheils, wie die Karte erwarten liess, eine vergleichende Untersuchung metamorphosirter Gesteine der verschiedensten Horizonte möglich war.

### I. Orographische Verhältnisse der Reuth.

Die Reuth ist ein kleines, nicht sehr hohes Granitmassiv — es erreicht nach Gümbel im Gottmannsberg 1892 Pariser Fuss —, das im Streichen der Kornberg-Waldsteinkette liegt und deren südliches Ende bildet. Der Granit durchbricht in durchgreifender Lagerung die steil aufgerichteten Formationen, die den S.O.-Rand der Münchberger Gneissinsel umgeben, so dass Hornblendeschiefer, Chloritschiefer, silurische Lydite und graue weiche Thonschiefer, graugrüne harte obercambrische Thonschiefer und untercambrische Phyllitschiefer, sowie chloritische Phyllite der Reihe nach von S.W. nach N.O. in den Contacthof des Granites laufen. — Der Granit selbst tritt im Wesentlichen nur am nördlichen Abhang der Reuth hervor, während der südliche Theil derselben von Contactgesteinen bedeckt ist. Die Grenzlinie beider, die Contactlinie, lässt sich im Allgemeinen gut verfolgen. Sie läuft von der Laitsch in einer vielfach gewundenen Linie mitten über die Reuth bis in die Nähe von Gottmannsberg, um von da unter einer Wiese nach dem Kornbach abzufallen. Im Norden begrenzt

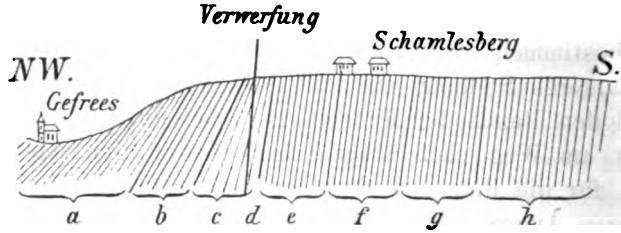
Digitized by Google

der in der Richtung von Weissenstadt nach Gefrees fliessende Kornbach ziemlich genau den Granit. Vor dem Ort Kornbach jedoch überschreitet der Granit den Bach, um sich in einem langen Zipfel in der Richtung des Waldsteins auszuziehen. Zwei Kilometer hinter Kornbach tritt dann die Grenzlinie des Granites wieder über die durch die Strasse und den Bach angegebene Nordgrenze der Reuth zurück und läuft, theilweise von den Wiesen der Torfmoorhölle verdeckt, südwärts nach den Quellen des Kornbachs und der Laitsch.

Die Lagerungsverhältnisse der gegen das Massiv ausstreichenden Horizonte liessen sich nur im Süden der Reuth genau bestimmen. Sie zeigen alle bei einer mehr oder weniger saigeren Stellung ein nach N.O. gerichtetes Streichen, parallel dem Rande der Münchberger Gneissinsel. Dicht über Gefrees am Weg nach Schamlesberg finden sich jene nach Gümbel für die Randzone der Gneissinsel charakteristischen, prächtigen Augengneisse und nicht weit davon ist an dem neugebauten Weg die Grenze zwischen Gneiss und Hornblendeschiefer vortrefflich aufgeschlossen. Es ist dort deutlich zu sehen, dass scharf vom Gneiss abgesetzter Hornblendeschiefer unter gleichem Winkel (75°) mit dem Gneiss nach N.W. einschliesst. Der von Gümbel eingezeichnete Chloritschieferhorizont ist auf der Südseite der Reuth unter einer moorigen Einsattelung verborgen, wohl aber lässt ein Fels auf der Nordseite des Kornbachs, dicht am Granit der Reuth, erkennen, dass der Chloritschiefer das Streichen und Fallen der Hornblendeschiefer einhält. Östlich von den Chloritschiefern, im Hangenden derselben folgt dann ein äusserst schmaler, durch Lydite und Thonschiefer markirter silurischer Horizont. Derselbe ist zwar in einer Grube bei Gottmannsberg aufgeschlossen, sein Fallen konnte jedoch, da die Gesteine dort stark zerstückt und zersetzt waren, nicht bestimmt werden. Die östlich von den silurischen Gesteinen anstehenden obercambrischen Schiefer ergaben ein Streichen nach N. 10 O. und ein fast saigeres Fallen nach N.W. Die darauf folgenden untercambrischen Phyllite streichen nach N. 65 O. und stehen saiger. Dasselbe Streichen und Fallen halten die chloritischen Phyllite ein. — Schwierig zu erklären ist das Nebeneinanderauftreten der Chloritschiefer und des Silur und die eigen-

Digitized by Google

thümliche Erscheinung, dass östlich und westlich von diesen beiden Horizonten das Liegende derselben folgt, dass also das Hangende zweier Schichtensysteme neben einander liegt. Gegen die Annahme einer nach N.O. streichenden Synclinale spricht der Umstand, dass die Schichten der beiden Systeme nicht gleich sind, denn die beiden Flügel der Synclinale müssten dann aus verschiedenen Schichtensystemen bestehen! Es bleibt daher nur die Annahme einer zwischen Silur und Chloritschiefer nach N.O. laufenden Verwerfung übrig. Ob die auffallende




*a.* Gneiss. *b.* Hornblendeschiefer. *c.* Chloritschiefer. *d.* Silur. *e.* Oberes Cambrium. *f.* Unteres Cambrium. *g.* Chloritischer Phyllit. *h.* Phyllit.

Lagerung der archaeischen Randgesteine der Gneissinsel durch ein Schleppen der Flügel an der Verwerfung oder durch eine Überkippung dieser oberen Horizonte der Gneissformation zu erklären ist, wagt der Verfasser nicht zu entscheiden. Das vorstehende, südlich von der Reuth von N.W. nach S.O. durch die Schichten gelegte Idealprofil soll die Lagerungsverhältnisse verdeutlichen.

Bemerkenswerth ist, dass die Verwerfung direct auf das Reuthmassiv zuläuft und dass die Kornberg-Waldsteinkette in ihrer Streichungsrichtung liegt. Eine etwaige genetische Beziehung dieser Verwerfung zu den in ihrem Streichen liegenden Granitstöcken wird später ihre Besprechung finden.

### 2. Der Granit.

Der Granit der Reuth ist an der Nordseite derselben in zahlreichen Steinbrüchen vorzüglich aufgeschlossen. Er tritt dort als ein mittelkörniges Gestein von schöner bläulicher Farbe auf. Bei einer Verfolgung des Granites vom Südrande der Reuth nach den nordöstlichen, in der Richtung zum Waldstein sich erstreckenden Ausläufern ergibt sich, dass das Ge-

Digitized by Google

CALIFORNIA

stein von der Reuth bis zum Waldstein gleichmässig grobkörniger wird, im Übrigen aber keine Unterschiede erkennen lässt. Bis 2 cm. grosse Orthoklase finden sich auf der Reuth überall in wechselnder Menge porphyrisch eingesprengt, ohne dass sich ein Gesetz ihres häufigeren oder geringeren Vorkommens erkennen lässt. Es sind meist in der Richtung der Klinodiagonale gestreckte rectanguläre Säulen der Combination 0P, $\infty P\infty$, $\infty P$, $mP\infty$, $mP\infty$. Feinkörnige Concretionen treten ebenfalls öfters auf. Auffällig ist die in den Brüchen am W.-Abhang der Reuth deutlich erkennbare Plattenabsonderung des Granits. Die Platten sind äusserst flach kuppelförmig gekrümmt und liegen schalenartig übereinander. Die Dicke derselben ist verschieden, meist sehr beträchtlich und oft einen Meter überschreitend. Da die Brüche in der Nähe des Contactes liegen, ist die Absonderung wohl mit einer rascheren Abkühlung des Magmas in Beziehung zu setzen.

Die mikroskopische Untersuchung ergibt, dass der Granit ein Biotitgranit ist. Als Hauptgemengtheile treten Orthoklas, Quarz und ein eisenreicher, meist sehr dunkler Biotit, der häufig zu Butzen zusammentritt, auf. Plagioklase finden sich nur selten, dagegen ist Apatit häufiger. Die Feldspäthe und der Glimmer sind automorph, der Quarz tritt nur in xenomorphen Körnern auf.

### Endogene Contacterscheinungen im Granit.

Eine wesentliche Veränderung erleidet der Granit wenige Meter vom Contact. Am deutlichsten ist dieselbe an der Contactlinie der Südreuth zu erkennen. Makroskopisch stellt sich diese Contactfacies des Granites als ein äusserst feinkörniges, dunkles und glimmerreiches Gestein dar, das scharf am benachbarten Hornfels abschliesst. U. d. M. erweist es sich als ein äusserst feinkörniges Gemenge der auch den normalen Granit zusammensetzenden Mineralien. Quarz, Orthoklas, Biotit und wenig Plagioklas treten in unveränderter Anordnung auf; nur der Glimmer scheint bedeutend an Menge zugenommen zu haben. Wir haben es also im Allgemeinen nur mit einer durch endogenen Contact erzeugten structurellen Facies des Granites zu thun. An der Contactlinie der Süd-Reuth tritt aber zu dieser Verfeinerung des Korns noch

Digitized by Google

eine überraschende Zunahme des Fluor-Apatits und in geringerem Maasse des Turmalins. Der Apatit tritt in überaus zahlreichen, dem Orthoklas und Quarz eingelagerten langen, farblosen Nadeln auf. Eine Nadel durchsetzt oft mehrere Quarz- und Orthoklasindividuen. Nirgends lässt sich in Glimmer eingelagerter Apatit beobachten, so dass der Glimmer entschieden vor dem Apatit ausgeschieden wurde und der letztere wahrscheinlich zwischen der Bildung des Glimmers und der des Orthoklas und Quarz zur Krystallisation gelangte (siehe Abschnitt 10). Die Untersuchung eines besonders apatitreichen Contactgranites ergab 4,09 % $P^2O^5$, also 9,7 % Apatit, während der normale Granit nur 0,77 % Apatit enthielt. Angaben über ein derartig reiches Auftreten von Apatit im endogen metamorphosirten Granit hat Verfasser nirgends finden können; allerdings muss bemerkt werden, dass bereits Clifton Ward im „Quarterly Journal of the Geol. Soc. of London, Vol. XXXII, pg. 5—7" Mittheilungen über eine schwache Zunahme des Phosphorsäuregehaltes im Contactschiefer nach dem Granit zugibt (spotted schist 0,085 %, mica schist 0,128 %, granite 0,149 %). Obgleich noch keine Angaben über den Zusammenhang von Phosphoritlagern mit apatitreichem Granit gemacht worden sind — auch die spanischen Geologen haben den an Phosphoritlagern so reichen Granit von Estremadura noch nicht auf seinen Apatitgehalt untersucht — glaubt der Verf. doch ein bei Martinlamitz dicht am Granitcontact gelegenes Phosphoritlager mit apatithaltigem Contactgranit in Beziehung bringen und als durch Auslaugung derartigen Granites entstanden ansehen zu können.

### 3. Die Contactmetamorphose der obercambrischen schwarzgrauen Thonschiefer.

#### a) Das unveränderte Gestein.

Dicht unterhalb Schamlesberg stehen auf einer kleinen Anhöhe graugrüne bis grauschwarze, ebenschieferige, theilweise griffelförmig brechende und gefältelte, ziemlich harte Thonschiefer an, die nach Gümbel in das obercambrische Schichtensystem gehören. U. d. M. im polarisirten Licht untersucht erweisen sich dieselben als echte Thonschiefer. Die Grundmasse besteht aus winzigen Quarzkörnern und eng damit ver-

Digitized by Google

bundenen weissen bis hellgrünen, bei gekreuzten Nicols hell aufleuchtenden Glimmerblättchen. An vielen Stellen lässt sich erkennen, dass die letzteren sich in eine das ganze Gestein durchziehende faserige, sehr hellgrüne Substanz auflösen, die ihren optischen Eigenschaften nach dem Gümbelit nahe steht. Grössere Chloritschüppchen, Rutilnadeln und Eisenerze (Eisenglanz und Limonit) treten nur untergeordnet auf. Als charakteristischer und besonders pigmentirender Bestandtheil ist dagegen eine schwarze, theilweise in Strängen und Netzen geordnete, theilweise durch das Gestein gleichmässig vertheilte Substanz aufzuführen, die beim Glühen vollständig verschwindet und daher wohl als Kohle anzusprechen ist. Eine starke Vergrösserung löst das schwarze Pigment in zahllose bräunlich schimmernde Partikelchen von runder Gestalt auf.

### b) Geschwärzte Schiefer.

In gleicher Höhe mit Schamlesberg, also über den normalen Schiefern, in der Richtung gegen den Granit hin treten tiefschwarze, sonst unveränderte Schiefer auf. Ein mikroskopischer Vergleich ergiebt, dass die braunen Eisenoxyde verschwunden sind und das bräunliche Pigment schwarz geworden ist. Es liegt also jedenfalls eine Umwandlung der Eisenerze in Magnetit und eine theilweise Graphitisirung der Kohlenpartikelchen vor. Angestellte Glühversuche bestätigten dies, indem die normalen grauen Schiefer einen Glühverlust von 5,3—5,6 %, die dem Augenschein nach C-reicheren schwarzen Schiefer aber nur einen solchen von 4,5—4,8 % ergaben. Übrigens hat eine ähnliche Schwärzung am Contact schon Barrois (s. Mém. de la soc. géol. du Nord, t. II, 1882, pg. 94) an den cambrischen Thonschiefern der Pyrenäen beobachtet.

### c) Knotenthonschiefer.

Auffällig erschien es, dass weder Handstücke, noch Schliffe eine Knötchenbildung erkennen liessen. Das Pigment schien in den geschwärzten und den darauffolgenden Chiastolith-führenden Schiefern gleichmässig dicht vertheilt zu sein. Bei andauernder Behandlung derartiger Schiefer mit Salzsäure und darauffolgendem Glühen trat jedoch deutliche Knötchenbildung hervor. Die Knötchen sind, wie das angeführte Verhalten

Digitized by Google

derselben bereits schliessen lässt und wie die mikroskopische Untersuchung derartig behandelter Schiefer bestätigt, Anhäufungen von Graphitpartikelchen, die in der dichten, von Magnetit, Kohle und Graphit gebildeten Pigmentmasse verborgen sind. Ähnlich dürfte vielleicht ein von Rosenbusch im Erlenthal bei Truttenhausen gemachter Fund (s. die Steiger Schiefer pg. 186) zu erklären sein. Rosenbusch fand dort ebenfalls Chiastolithschiefer ohne Knötchenbildung. Er fasst danach die Chiastolithe als ein Aequivalent der Knotenbildung auf, doch widersprechen dem eine Reihe anderer Beobachtungen, z. B. die von F. Ernst Müller (cf. „die Contacterscheinungen an den Graniten des Hennberges bei Weitisberga", dies. Jahrb. 1882, II, 205) bei Weitisberga und die vom Verfasser an der Reuth gemachten. An der Reuth, wie auch am Hennberg tritt die Knötchenbildung weiter vom Granit entfernt, als die Chiastolithbildung, auf, um theilweise neben der letzteren herlaufend, auch früher zu verschwinden. Noch weniger lässt sich die von verschiedenen Seiten aufgestellte Behauptung rechtfertigen, dass aus den Knötchen sich die Chiastolithe entwickelten. Dazu steht vor Allem die Zusammensetzung der Knötchen aus einfachen Graphitpartikelchen, sowie das Nebeneinanderauftreten von Knötchen und Chiastolithen im Widerspruch. Beide, Knötchen- und Chiastolithbildung, sind Contacterscheinungen, die in keinem genetischen Verhältniss zu einander stehen und mehr oder weniger parallel laufen.

### d) Chiastolithschiefer.

Die Chiastolithe treten in den geschwärzten, mit Knötchen versehenen Schiefern Anfangs noch vereinzelt, aber bereits die bekannte Grösse der in allen Sammlungen vorhandenen Gefreeser Chiastolithe (bis 1 cm. Länge) zeigend, auf.

Frische Krystalle sind schwer zu finden, bei den meisten lässt eine gelbglänzende Kruste die Zersetzung in glimmerähnliche Mineralien erkennen. U. d. M. zeigt sich, dass die zersetzten Krystalle zumeist aus einer schuppigen Glimmer-Rinde und einem System von grünlichweissen Fasern bestehen, die senkrecht auf den Seitenwänden stehen. Die Chiastolithe sind nach keinem Gesetz innerhalb des Schiefers geordnet, sondern liegen vielmehr in dichtem Gewirr nach allen Rich-

Digitized by Google

tungen durcheinander. Die schwarzen Einschlüsse derselben bestehen, wie eine mikroskopische Betrachtung leicht zeigt, nicht aus Thonschiefersubstanz, wie man früher wohl vermuthete, sondern aus mit Andalusitsubstanz verwachsenen schwarzen Partikelchen. Da letztere selbst bei anhaltendem Glühen nicht verschwinden und auch in ganz zersetzten Gesteinen sich noch frisch erweisen, dürften sie zumeist aus Graphit und wohl kaum aus Magnetit bestehen. Die graphitischen Einschlüsse sind zuweilen unregelmässig durch den ganzen Krystall verteilt, meist jedoch in der bekannten Form angeordnet, die dem Mineral den Namen gab. Diese Anordnung ist, wie W. Müller („Beitrag zur Kenntniss des Chiastoliths", Inaug.-Diss. Jena 1886) nachwies, nicht auf Zwillingsbildung zurückzuführen. Eine bemerkenswerthe Anordnung der Graphitpartikelchen innerhalb der Einschlusskegel zeigten ganz frische

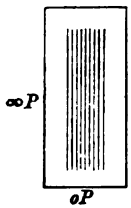


Fig. 1.

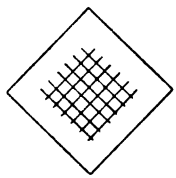


Fig. 2.

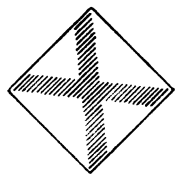


Fig. 3.

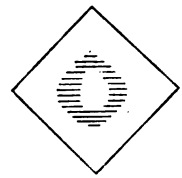


Fig. 4.

Chiastolithe. In der Literatur konnte der Verf. keine Analoga zu einer derartigen Anordnung finden, es werden stets nur Angaben über die äussere Form der Einschlussfiguren, nicht über ihre innere Structur gemacht. Der Verf. hatte nun Gelegenheit zu beobachten, dass die Graphitpartikelchen, die in zersetzten Krystallen parallel den secundär gebildeten Fasern gelagert sind und deren Bewegungen mitmachen, in frischen Chiastolithen in Flächensystemen angeordnet sind, die der vorwiegenden Spaltungsrichtung parallel liegen. Krystalle, in denen die Spaltbarkeit nach dem Prisma überwiegt, zeigen in prismatischen Schliffen ein System von, den Begrenzungsflächen parallel laufenden Graphitlinien (Fig. 1), basische Schnitte ein Netzwerk, das von zwei senkrecht aufeinander stehenden Systemen von Graphitlinien gebildet wird (Fig. 2), in basischen Schliffen, die einer anderen Höhe des Krystalls entnommen sind, zeigt der Graphit innerhalb der Querbalken eine durch Fig. 3 ver-

Digitized by Google

deutlichte Anordnung. Ein Schliff (Fig. 4) zeigte die sonst sehr undeutliche Spaltbarkeit nach den Pinakoiden überwiegend, die Graphitlinien waren nun parallel der pinakoidalen Spaltbarkeit angeordnet. Es ergiebt sich also ein direkter Zusammenhang in der Orientirung der Graphitpartikelchen und der Spaltbarkeit des Krystalls, d. h. eine Abhängigkeit der Anordnung des Graphites von der Richtung der Cohäsionsminima und damit von der Molecularstructur der Krystalle.

Die Grundmasse der Chiastolithschiefer zeigt anfangs gegen die Zusammensetzung der geschwärzten Schiefer keine Änderung, zuerst verschwinden die Knötchen, später treten nach dem Contact zu immer häufiger werdende, bereits makroskopisch erkennbare Biotitblättchen auf. Zugleich nimmt das Gestein einen massigeren Habitus an, die Chiastolithe nehmen rasch an Zahl ab und es bilden sich Knoten heraus. 180 Schritte über dem Schamlesberg-Gefreeser Weg sind die makroskopisch erkennbaren Chiastolithe verschwunden, so dass die Breite der Chiastolithschiefer ungefähr 400 Schritte beträgt. Es haben sich nun

e) Knotenglimmerschiefer

herausgebildet. Dieselben stellen ein mehr oder weniger massiges, meist sehr dunkles Gestein dar, das durch die meist in Ebenen orientirten dunkleren Knoten und durch seinen Biotitgehalt charakterisirt ist. Die Zone der Knotenglimmerschiefer erreicht auf der Südseite der Reuth gegen 500 Schritt Breite. U. d. M. ergibt sich, dass mit dem Zurücktreten der grösseren Chiastolithe das Auftreten eines tiefbraunen, stark pleochroitischen, in zerfransten Blättchen sich findenden Biotites verbunden ist, dass ferner die Muscovitblättchen und Quarzkörner an Grösse zunehmen, dass Turmaline, die im normalen Gestein fehlen — allerdings auch nur sporadisch — auftreten, dass die impelluciden Partikelchen sich zu grösseren Körnchen und Scheibchen zusammenballen. Weiter zeigt das Mikroskop, dass das faserige hellgrüne Mineral (Gümbelit), sowie die vereinzelten Chloritschüppchen verschwunden sind, und dass sich vor Allem bis 3 mm. grosse Knoten herausgebildet haben, die in manchen Stücken so dicht liegen, dass das Gestein flaserigkörnige Structur annimmt. Die Knoten zeigen nun ganz ver-

Digitized by Google

schiedene Ausbildung. In den meisten Schliffen stellen sie sich als graue, elliptische Flecke dar, die umgeben sind von einem Kranz braunen Glimmers und zwischen denen sich die aus Quarz, Muscovit, eingelagerten mikroskopischen Chiastolithen und neugebildeten Biotiten bestehende Grundmasse hinzieht. Die Flecke zeigen Aggregatpolarisation und eine Zusammensetzung aus Quarz, wenig Muscovit und meist gegen die Mitte gehäuften Graphitschüppchen. Derartig struirte Knoten liessen sich wohl nach Rosenbusch's Vorgang als in der contactmetamorphen Entwicklung zurückgebliebene Theile der Schiefermasse deuten. In der Weiterentwicklung der Schiefer treten gleichsam als Ersatz für die verschwindenden Chiastolithe kleine Andalusitkörner auf. Dieselben sind eckig, dem Gesteinsgewebe eingeschmiegt und zum Theil ausserhalb, meist aber innerhalb der Knoten entstanden. Hier nehmen sie bald dermassen zu, dass Knoten entstehen, die aus reiner krystalliner Körnermasse mit dicken zwischengelagerten schwarzen Körnern oder aus strahligen Aggregaten von Andalusitkrystallen bestehen. Auch diese Andalusitconcretionen treten als schwarze Knoten aus dem Gestein hervor, im Schliff erweisen sie sich jedoch als durchsichtige Flecken. Das Auftreten der Andalusitkrystalle führt direct zur Entwicklung des

### f) Andalusitglimmerfels,

indem an Stelle der Andalusitkörner immer häufiger Aggregate von langen prismatischen Krystallen treten und die Knoten dadurch verschwimmen. Makroskopisch besteht die Umänderung der Knotenglimmerschiefer in Andalusitglimmerschiefer neben dem Verschwinden der Knoten in einer weiteren Zunahme des Glimmers und der Annahme eines vollständig massigen Bruches. Der Andalusitglimmerfels ist meist zersetzt und zeigt dann durch die lagenförmige Anordnung der Bestandtheile ein gebändertes Aussehen und zahlreiche, als bis ½ cm. lange schwarze Nadeln auftretende Andalusitkrystalle. Das frische Gestein lässt nur tiefschwarzen Biotit und in geringerer Menge bemerkbaren Muscovit erkennen. Die ganze Zone hat auf der Südseite der Reuth eine mittlere Breite von 380 Schritten. U. d. M. ist der Andalusitglimmerfels besonders durch die zahlreichen Aggregate von Andalusitnadeln, die sich aus den

Digitized by Google

Knoten herausgebildet haben, charakterisirt. Die Andalusite sind im Gegensatz zu den farblosen Chiastolithen der niederen Stadien der Metamorphose meist prachtvoll rosa und schwach pleochroitisch, sie enthalten gewöhnlich einen tiefrothen Kern. Deutliche Krystallformen lassen sich selten finden, die meisten Nadeln sind auffällig gerundet oder aus optisch gleich orientirten, gerundeten Körnern zusammengesetzt. Die Grundmasse der Andalusitglimmerschiefer wird aus eckigen Quarzkörnern, zahlreichen braunrothen, eigenthümlich eingebuchteten Blättchen eines schwach pleochroitischen Biotites, aus einzelnen Muscovitblättchen und aus vereinzelten, grösseren Opaciten gebildet. Innerhalb des weissen Glimmers treten kleine Turmalinsäulchen sporadisch auf.

### g) Hornfels.

Als Endglied der Contactreihe entwickelt sich aus dem Andalusitglimmerfels ein vollständig dichtes, äusserst hartes, gewöhnlich blauschwarzes Gestein, der Hornfels. Derselbe läuft in einem schmalen, kaum 120 Schritte breiten Rayon am Granit entlang. U. d. M. stellt sich seine Entwicklung vorwiegend als eine Resorption der Andalusite dar. Es entsteht dadurch ein feinkörniges, durchaus krystallines Gemenge von eckigen Quarzkörnern, tiefbraunrothen Biotitschüppchen, etwas grösseren und weniger häufigen Muscovitblättchen und Andalusitkörnern. Die Mengenverhältnisse dieser Bestandtheile wechseln ausserordentlich. Anfangs überwiegt natürlich noch der Andalusit, nach dem Contact zu wird jedoch der Hornfels immer quarz- und biotitreicher, so dass dicht am Granit ein nur aus eckigen Quarzkörnern und braunrothem Glimmer nebst dessen Einlagerungen bestehendes Gestein ansteht. Ein besonders eigenthümlicher und charakteristischer Gemengtheil des Hornfels ist der Biotit. Derselbe tritt bereits in den letzten Stadien des Andalusitglimmerfels auf, wenn auch lange nicht so reich entwickelt und so auffällig gefärbt als im Hornfels. Hier zeigen die Blättchen nämlich stets eine intensive, vom Roth des Rubellan bis zum Chokoladebraun wechselnde Färbung, nur sehr geringen Pleochroismus und stets gerundete Form. Da die Herausbildung dieses interessanten Biotites mit dem Verschwinden der Opacite Hand in Hand geht,

Digitized by Google

ist die Annahme, dass das Eisen der Opacite — und ein etwaiger den Rutilen entnommener Gehalt an $TiO^2$ — in den Glimmer aufgenommen wird, wohl berechtigt. Auffällig ist auch die Einlagerung zahlreicher kleiner, runder Biotitscheibchen in localreicher auftretendem Muscovit, die den Gedanken an eine chemische Corrosion des Biotites nahelegt. Endlich tritt im Hornfels auch, in den Andalusitglimmerschiefern bereits sporadisch vorhandener, Turmalin in zahlreichen Kryställchen auf. Die Säulchen, die sich besonders häufig im Muscovit finden, zeigen deutlichen Dichroismus und zwar braun für den ordinären, blau für den extraordinären Strahl.

Blicken wir noch einmal kurz auf den Gang der Entwicklung innerhalb der Contactgesteine zurück, so sehen wir, dass in einem klastischen, im wesentlichen Quarz, Muscovit, ein Gümbelit-ähnliches Mineral, Chlorit, Kohle und Eisenerze führendem Gestein zuerst eine Schwärzung auftritt, die mit einer Umwandlung der Kohle und Eisenmineralien verbunden ist. In den geschwärzten Schiefern treten zuerst nur nach Entfernung der Eisen- und Kohlepartikelchen erkennbare Knötchen auf, neben denen bald Chiastolithe erscheinen. Zugleich verschwindet das Gümbelit-ähnliche Mineral und der Chlorit, während Biotit dafür neu auftritt. Dabei bleibt Schiefermasse in der Entwicklung zur gröberkörnigen Structur zurück und tritt in Gestalt von Knoten aus dem Gestein heraus. In den Knoten tritt weiter Andalusit, zuerst in Körnern, später in Krystallaggregaten, auf und die Knoten verschwinden dadurch. Zugleich wird der Biotit zahlreicher, während die Opacite abnehmen. Zuletzt wird der Andalusit wieder aufgelöst, der Biotit nimmt einen eigenthümlichen charakteristischen Habitus an und es tritt ein Gemenge von Quarz, Glimmer und Turmalin an den Granit heran.

Einige interessante Abweichungen von dem Bild der Contactmetamorphose, das die Südreuth gibt, zeigen die obercambrischen Thonschiefer, die nordwärts der Reuth weiterstreichen und deren Contactrayon dort von v. Gümbel als fleckiger und gneissartiger Glimmerschiefer bezeichnet wurde. Auch hier treten die Stadien der Contactmetamorphose vom Schwarzschiefer bis zum Hornfels, wenn auch in sehr schmalen Zonen, auf. Im Schwarzschiefer bildet sich hier bereits

Digitized by Google

makroskopisch als solcher erkennbarer echter Knotenthonschiefer heraus. Die Knötchen erweisen sich u. d. M. ebenfalls als einfache Pigmentanhäufungen. In diesem Knotenthonschiefer kommt es auch nordwärts der Reuth zu einer reichlichen Chiastolithbildung, die neben der Knotenbildung herläuft. An der über den Galgenberg führenden Chaussée von Gefrees nach Weissenstadt, also an Orten, von denen das Vorkommen von Chiastolithen bisher nicht bekannt sein dürfte, finden sich zahlreiche Chiastolith- und Knötchen-führende Schiefer. Die Chiastolithe sind nordwärts der Reuth allerdings bedeutend kleiner, als über Schamlesberg. Sie treten als kaum 3 mm. lange, weisse Nädelchen aus dem Gestein heraus. An den Chiastolithschiefer schliessen sich auch am Galgenberg Knotenglimmerschiefer, Andalusitglimmerschiefer und, dicht am Granit, Hornfels an. Makroskopisch zeigen die letzteren Gesteine keine Verschiedenheit gegen die von Schamlesberg, u. d. M. ergibt sich jedoch die überraschende Erscheinung, dass sie alle, selbst der Hornfels, noch typischen Chiastolith und Knötchen führen. Die Chiastolithe in einem dicht am Kornbach anstehenden, äusserst harten und vollständig dichten Hornfels sind mit den charakteristischen, regelmässig angeordneten Einlagerungen der Chiastolithe versehen und zeigen nirgends den Dichroismus und die rothe Farbe der Andalusite. Dabei ist die Grundmasse dieses Gesteins die eines typischen Hornfels; Quarz und chokoladebrauner, schwach pleochroitischer Glimmer setzen sie im wesentlichen zusammen. Man kann sich bei Betrachtung dieses Knoten- und Chiastolith-führenden Hornfelses dem Eindruck nicht verschliessen, dass hier der Hornfels sich nicht vollständig entwickeln und die Knoten und Chiastolithe nicht resorbirt werden konnten, dass also der Hornfels sich aus dem Knotenthonschiefer und Chiastolithschiefer entwickelt habe. Für eine Entwicklung der höher potenzirten Stadien der Metamorphose aus den niederen Stufen scheint auch das später noch zu besprechende Auftreten von silurischen Chiastolithschiefern dicht am Granitcontact zu sprechen. Die Einwirkung des Granites reichte hier eben nicht hin, die Chiastolith-führenden Knotenthonschiefer weiter zu metamorphosiren und Hornfels zu bilden. Allerdings betonten manche Geologen,

Digitized by Google

besonders H. Rosenbusch, mehrfach, dass die Entwicklung nur im Sinne des Nebeneinander und nicht des Aufeinander aufzufassen sei (Rosenbusch, Mikrosk. Physiogr. der Mineralien und Gesteine, 2. Aufl., Bd. II, S. 48), ohne jedoch diese Annahme weiter zu begründen. Wohl aber sagt Rosenbusch selbst (Die Steiger Schiefer, pg. 191): „man hat fast den Eindruck, als würde das Pigment der Flecken allmählich wieder allgemein vertheilt oder ganz resorbirt". Übrigens involvirt die Vorstellung einer successiven Entwicklung der niederen Stadien zu höheren auch keine grösseren Schwierigkeiten, als die einer gleichzeitigen Nebeneinanderentwicklung derselben und es ist recht wohl denkbar, dass der heraufbrechende Granit in den Schiefern zunächst die ersten Stadien und bei anhaltender und sich steigernder Einwirkung dann die höheren Stufen der Metamorphose erzeugte.

#### 4. Die silurischen Thonschiefer und Lydite.

An die obercambrischen Thonschiefer schliessen sich ihrer normalen Beschaffenheit und auch den erlittenen Veränderungen nach die silurischen Thonschiefer an. Südlich der Reuth liegt das silurische Schichtensystem im Hangenden des oberen Cambriums und streicht westlich vom letzteren am Granit aus. Es ist ein wenig mächtiges System, das nur in einer Grube oberhalb Gottmannsberg aufgeschlossen ist. Es lässt sich dort zwischen unveränderten Lyditen eine Schicht weichen grauen, von vielen Quarzadern durchschwärmten Thonschiefers finden, jene thonschiefrige Zwischenlage, die nach Gümbel's Angaben die Graptolithen führen soll. Diese erdigen Schiefer nun, die nur wenige hundert Schritt vom Contact entfernt liegen, zeigen reichlich Knötchen von schwarzer oder von der mattgrauen Farbe des Grundgesteins. Die Schiefer erhalten dadurch ein pockennarbiges, körniges Aussehen. Die Knoten erweisen sich als einfache Anhäufungen des Pigments. Da zugleich die Grundmasse keine Veränderung gegen das normale Gestein erkennen lässt, haben wir es mit dem Stadium der Knotenthonschieferbildung zu thun. Beachtenswerth ist, dass diese Knotenbildung in dem weichen Thonschiefer erst in einer Nähe vom Contact auftritt, in der die daneben anstehenden cambrischen Thonschiefer sich bereits im Stadium



Digitized by Google

des Knotenglimmerschiefers befinden. Nach dem Granit zu wird das Gestein unter einer dichten Decke herabgeführter Schuttmassen verdeckt.

Besser ist das Verhalten der silurischen Gesteine am Contact des Kornbachs, am Fuss des Galgenbergs zu erkennen. Auch an der Contactlinie der Nordreuth erwiesen sich die Lydite bis an den Granit unverändert. Die eingelagerten weichen, hier tiefschwarzen Thonschiefer zeigen dagegen typische Knötchenbildung bis an den Contact. Das Mikroskop ergibt weiter, dass auch in diesen Knotenthonschiefern eine, wenn auch makroskopisch nicht sichtbare Chiastolithbildung stattfindet. Zwischen den zahlreichen kurzen Chiastolithkryställchen liegen winzige Körner einschlussfreier Chiastolithsubstanz, die vielleicht nicht zur Entwicklung gelangte Chiastolithe darstellen.

#### 5. Die untercambrischen phyllitischen Schiefer.

Wesentlich andere Veränderungen als die Thonschiefer haben die am Ostende des Dorfes Schamlesberg anstehenden untercambrischen, phyllitähnlichen Schiefer erlitten. Es sind hellgraue, gelblich glänzende, sehr dünnschiefrig brechende und fein gefältelte Schiefer, die saigere Stellung und ein nach N. 65° O. gerichtetes Streichen zeigen. Gümbel nennt diesen Horizont den der „phyllitischen Schiefer", weil er auf der Grenze zwischen den Phylliten und den obercambrischen Thonschiefern liegend, einen Übergang zwischen beiden bildet. Die mikroskopische Analyse ergibt, dass obige Bezeichnung vollständig gerechtfertigt ist, sie zeigt uns ein äusserst feinkörniges, durchaus krystallines Gestein, das dem „Schistit" im Sinne Gümbel's entsprechen dürfte. Die Grundmasse desselben besteht aus Quarz und eng mit diesem verwobenen, winzigsten, in allen Richtungen gelagerten Muscovitblättchen. Der Quarz ist so feinkörnig, dass selbst bei stärkster Einstellung die Grenzen der Individuen nicht deutlich erkennbar sind. Am Rand des Schliffes zeigt er eckige Contouren, so dass er jedenfalls authigen ist. Neben Quarz und Muscovit tritt Chlorit in zahlreichen grösseren, blaugrünen Schuppen und Fetzen auf. Das Gestein ist ausserordentlich eisenreich, womit wohl auch das geringe Auftreten von Rutil zusammen-

Digitized by Google

hängt. Das Eisen ist zum geringeren Theil in tiefrothen Eisenglimmerschüppchen, häufiger in grossen makroskopisch sichtbaren Limonitflecken, die oft das ganze Gestein bräunlich färben, zum grössten Theil aber in opaken, schwarzen, unregelmässig contourirten Körnchen vorhanden, die häufig einen kleinen Hof von Limonit zeigen. Ein anderer Theil der gleichmässig vertheilten schwarzen Partikelchen, die jedoch nirgends so dicht auftreten, dass sie als Pigment wirkten, gehört der Kohle an.

### a) Knotenphyllit.

Dicht hinter Schamlesberg beginnen die Schiefer bereits winzige, frisch schwarze, später weisse Knötchen zu zeigen, die im zersetzten Zustand von einem rostbraunen Hof umgeben sind. Merkwürdigerweise sind die Knötchen zumeist in der Richtung der Fältelung gestreckt, ein Factum, das darauf hinweist, dass bei der Entstehung dieser Knoten ein Druck auf die Phyllite ausgeübt wurde, welcher senkrecht auf die Richtung der Fältelung wirkte. Untersuchungen in loco ergaben, dass dieser Druck nur vom Granitmassiv ausgegangen sein kann. — Die Knötchen sind nur Anhäufungen der schwarzen Gesteinsgemengtheile und zwar, wie schon die rostige Verwitterung derselben zeigt, besonders der Eisenerze. Die Zwischenmasse ist im Ganzen unverändert, nur die Kohle scheint sich zu grösseren Scheibchen zu ballen, die wieder zu Wolken zusammentreten.

### b) Fleckige Phyllite.

Die Weiterentwicklung der Knotenphyllite war in einem Hohlweg, welcher der Streichungsrichtung der Phyllite ziemlich genau folgt, vorzüglich aufgeschlossen. Bei der Verfolgung dieses Weges fand sich, dass an Stelle der Knötchen anfangs kleine, später grössere, scheinbar rein flächenhafte Flecken treten, während das Gestein deutlich massiger wird, dabei aber den Glanz und die Fältelung der phyllitischen Schiefer noch beibehält, dass sich ferner winzige, eben noch makroskopisch erkennbare schwarze Nädelchen in Unzahl einstellen. Die letzteren liegen wirr durcheinander und häufen sich stellenweise wolkig an. Die frisch schwarzen, meist aber rostbraun verfärbten Flecken erreichen ungefähr 400 Schritt



Digitized by Google

von der Linie der ersten bemerkbaren Contactwirkung das Maximum ihrer Häufigkeit und Grösse (3 mm). Sie zeigen hier eine ausgeprägte Tendenz, sich an den Enden zu zerfasern und garbenähnliche Büschel zu bilden, so dass ein dem Garbenschiefer ähnliches Gestein entsteht. Mikroskopisch stellt sich die Entwicklung der fleckigen Phyllite aus dem Knotenschiefer so dar, dass die Knoten an Grösse zunehmen, dabei oft eine scharf begrenzte, länglich rechteckige Gestalt erlangen und zuletzt durch weitere Grössenzunahme heller werden und zerfliessen. Zugleich treten dunkelbraune Biotitblättchen in immer dichterer Menge auf, und zwar stehen dieselben, wie Querschliffe ergeben, senkrecht auf der Schieferungsfläche, so dass sie die auf den Phyllitplatten makroskopisch erkennbaren schwarzen Nädelchen bilden. Die Grundmasse zeigt deutlich grössere eckige Quarzkörner und auch der Muscovit tritt zumeist in geringerer Menge, aber dafür in grösseren Blättchen auf. — Am wichtigsten ist das Auftreten der garbenähnlichen Gebilde, welche, ähnlich wie die Chiastolithe, plötzlich in ihrer vollen Ausbildung, wenn auch in geringer Zahl, auftreten, um sich schnell zu mehren und dem Gestein das charakteristische Gepräge der fleckigen Schiefer zu geben. Makroskopisch betrachtet, scheinen die Flecke auf den Schieferungsflächen aus einzelnen bis 3 mm. langen, zu Bündeln zusammentretenden Nadeln zu bestehen. Dasselbe Bild zeigen parallel der Schieferung gelegte Schliffe. Querschliffe ergeben jedoch, dass diese Nadeln die Querschnitte von senkrecht auf der Schieferung stehenden Blättchen sind. Es handelt sich also um Aggregate von porphyrisch ausgeschiedenen Mineralblättchen und zwar um Biotite, die häufig eine auffällig regelmässig sechsseitige Begrenzung zeigen. Meistens ist der Glimmer stark zersetzt. Bemerkenswerth ist, dass die beiden Endblättchen der Aggregate oft von einem tiefgrünen, nur schwachen Pleochroismus, aber deutliche Auslöschung zeigenden Chlorit gebildet werden.

### c) Knotenglimmerschiefer.

Bei der Weiterverfolgung des Aufschlüsse gewährenden Weges ergibt sich, dass die Garben und deren einzelne Nadeln an Grösse und Dicke zunehmen und infolgedessen zu

Digitized by Google

schwarzen, zumeist aus Biotit bestehenden Knoten werden, die sich nach einzelnen Flächen orientiren und dadurch dem Gestein auf dem Querbruch ein gebändertes Aussehen geben. Die winzigen Biotitblättchen, die im „fleckigen Schiefer" infolge ihrer Stellung senkrecht auf der Schieferungsfläche als Nädelchen erscheinen, liegen jetzt ohne Orientirung im Schiefer zerstreut, der so ein glimmerreiches Aussehen gewinnt. Es hat sich demnach ein massiges, mit Knoten versehenes, glimmerreiches Gestein herausgebildet, das dem Knotenglimmerschiefer der obercambrischen Thonschiefer an die Seite zu stellen ist, sich von demselben aber noch durch den Biotitgehalt der Knoten unterscheidet. Bald tritt jedoch auch Andalusit, anfangs noch in zerstreuten Körnern zwischen der Biotit-reichen Quarzgrundmasse auf. Sehr schnell nimmt der Andalusit nun an Zahl und Grösse der Individuen zu. Zuletzt bilden sich Aggregate von Krystallnadeln heraus, die aber so viel Opacite eingeschlossen enthalten und von so viel unregelmässigen Sprüngen durchsetzt werden, dass sie als rothgraue körnige Partien zwischen der Quarz-Biotitgrundmasse erscheinen. Mit dem Auftreten des Andalusites geht das allmähliche Verschwinden der Garben und der später aus ihnen sich bildenden Knoten Hand in Hand, die sich in zerstreute Biotitblättchen auflösen. Es entsteht dadurch ein Gestein, das von dem

### d) Andalusitglimmerfels

der cambrischen Thonschiefer nicht mehr zu unterscheiden ist und daher auch als Andalusitglimmerfels bezeichnet werden muss. Dasselbe gilt von dem aus dem Andalusitglimmerfels sich entwickelnden

### e) Hornfels.

Auch hier ist der Hornfels ein äusserst hartes, dichtes und dunkles Gestein, das sich u. d. M. als ein krystallines Gemenge von, an Flüssigkeitseinschlüssen sehr reichem Quarz, jenem chokoladebraunen, eisenreichen Biotit und grossen Muscovitblättchen darstellt, die mit Turmalinkryställchen und Biotitscheibchen erfüllt sind.

Interessant ist, dass der zum Horizont der „phyllitischen Schiefer" gehörige Andalusitglimmerfels an einer Stelle im

Digitized by Google

Wald der Laitsch in einem bis 2 m. hohen Wall gegen eine tiefer ausgewitterte Granitapophyse absetzt. Die verwitterte Oberfläche des Contactschiefers lässt noch die ursprüngliche Schichtung erkennen und zeigt, dass der Schiefer unter saigerer Schichtenstellung gegen die granitische Apophyse ausläuft. Die Apophyse hat trotz ihrer Breite auch nicht vermocht, auf den Gang der Contactmetamorphose einzuwirken. Der Hornfels findet sich dann zumeist in Becken des Granites liegend. Infolgedessen ist die Gesammtbreite des Contacthofes der phyllitischen Schiefer nicht genau bestimmbar. Die Zone der „Knotenphyllite" ist ungefähr 200 Schritt breit, ebenso die der „fleckigen Phyllite", während die des Knotenglimmerschiefers eine Breite von über 800 Schritt erreicht. Die Zone des Andalusitglimmerfels ist wieder nur 200 Schritt breit. Die Breite der Hornfelszone lässt sich infolge der Lagerung desselben in Becken des Granites nicht genau bestimmen, sie beträgt jedoch auch mehrere hundert Schritt, so dass die Gesammtbreite des Contacthofes der phyllitischen Schiefer ungefähr 1700 Schritte beträgt.

### 6. Die chloritischen Phyllite.

Folgt man dem von Schamlesberg nach Bischofsgrün am Fuss des Reuthstockes hinführenden Wege, so bemerkt man leicht, dass die untercambrischen, ursprünglich hellgrauen phyllitischen Schiefer gegen das Liegende hin immer grüner, fettglänzender und dünner spaltend werden. Zuletzt trifft man über dem zweiten, der im Schamlesberger Thal gelegenen Teiche auf tiefgrüne, fettglänzende, eng gefaltete und gefältelte Schiefer, die auf der von Gümbel entworfenen geologischen Karte des Fichtelgebirges als „chloritische Phyllite" bezeichnet sind. Dieselben sind mannigfach zerstückt, zeigen quarzige Zwischenlagen und sind von vielen Quarzadern durchschwärmt, in denen sich grüne, von Gümbel als Phyllochlorit bezeichnete Blättchen ausgeschieden haben. — Auch mikroskopisch ist der Übergang der Phyllitschiefer in die chloritischen Phyllite deutlich beobachtbar. Im Wesentlichen besteht er nur in einer Zunahme des Chlorites, die so stattfindet, dass chloritreichere und chloritärmere, quarzreichere Lamellen sich in Wechsellagerung befinden, wobei die auch mit unbewaffnetem Auge erkennbaren

Digitized by Google

grünen Blättchen zwischen den etwas dickeren mattgrauen Lagen nach dem Liegenden zu stetig zunehmen. Die grünen, chloritischen Zwischenlagen zeigen u. d. M. in der Grundmasse der Phyllite dicht eingelagerte hellblaugrüne bis tiefgrüne Chloritblättchen, die der Schieferung gewöhnlich parallel liegen, häufig jedoch auch zu geldrollenähnlichen Aggregaten zusammentreten.

Leider liess das waldige Terrain der hinteren Reuth nur eine Untersuchung von Lesestücken zu; jedoch konnte auch hier constatirt werden, dass die vom Granit entfernteste Contactzone durch das Auftreten dunkler Knötchen in den im Übrigen unveränderten Schiefern gebildet wird. Die Knötchen erweisen sich ebenfalls als einfache Anhäufungen des Pigments und zwar treten in den chloritreichen Zwischenlagen die Chloritschüppchen, in den quarzreichen Lamellen dagegen die Opacite zusammen. Aus den Knotenschiefern entwickeln sich ebenso wie im Horizont der phyllitischen Schiefer „fleckige Phyllite". Die grünen Flecke lassen deutlich die Garbenstructur erkennen. Oft lösen sich die Garben — auf der Schieferungsfläche gesehen — in Schwärme von getrennt liegenden, parallelen Fasern auf. Zuweilen kreuzen sich auch zwei Garben. Dabei werden diese Gebilde bedeutend grösser (bis ½ cm. lang), als die im Gebiet der phyllitischen Schiefer entwickelten. Zwischen den Garben treten ebenfalls Wolken winziger schwarzer Nädelchen auf. Die mikroskopische Analyse lehrt, dass Garben und Nädelchen zumeist aus senkrecht zur Schieferung stehenden dunkelgrünen Biotiten gebildet werden, doch mögen die Blättchen zum Theil auch noch dem Chlorit angehören. Eine genaue Bestimmung der Mineralien war leider in den stark zersetzten Gesteinen unmöglich. Aus den Garben gehen weiter Knoten hervor, es treten regellos gelagerte Biotitblättchen auf, während dafür die in dem normalen Gestein so dicht gelagerten Chloritschüppchen verschwunden sind. Die Wechsellagerung quarzreicherer und chloritreicherer Lamellen ist ebenfalls nicht mehr zu erkennen. Es hat sich so ein massiger biotitreicher Knotenglimmerschiefer entwickelt, aus dem, in der bei den phyllitischen Schiefern beschriebenen Weise Andalusitglimmerfels hervorgeht. Die beiden letzteren Zonen zeigen den entsprechenden Stadien der anderen Schieferhorizonte gegen-

Digitized by Google

über insofern eine Abweichung, als sie nicht wie jene braunen, sondern einen mehr oder minder grünen Glimmer führen. Der Andalusitglimmerfels zieht sich über die Höhe der Reuth hin und verschwindet unter üppigem Haide- und Waldwuchs, so dass sich für die Zone der Hornfelse keine genügenden Belegstücke finden liessen. Jedoch ist mit Sicherheit anzunehmen, dass auch die Hornfelse in der bei den anderen Schiefern beobachteten Weise entwickelt sind. Die Breite des Contactareales der chloritischen Phyllite liess sich infolge der mangelnden Aufschlüsse ebenfalls nicht bestimmen.

Kurz zusammengefasst, besteht die Contactmetamorphose der „phyllitischen Schiefer" und chloritischen Phyllite darin, dass zuerst sich Knötchen herausbilden, die eine Anhäufung des Pigmentes darstellen, dass weiter unter Verschwinden des Chlorites in den chloritischen Phylliten, und der winzigen Muscovitschüppchen und grösseren Chlorite in den phyllitischen Schiefern sich Biotite entwickeln, die zum Theil zu garbenähnlichen Aggregaten zusammentreten, zum Theil winzige, senkrecht auf der Schieferung stehende Schüppchen bilden, dass weiter durch Wachsen der Garben zu Knoten und verstärkte Glimmerbildung Knotenglimmerschiefer entsteht, der durch Auftreten von Andalusit und Auflösung der Knoten in Andalusitglimmerfels übergeht. Der Letztere ist — abgesehen von dem grünglimmerigen Andalusitglimmerfels der chloritischen Phyllite — ebenso wie der sich aus ihm durch Verschwinden der Andalusite und reiche Entwicklung des chokoladebraunen Biotits herausbildende Hornfels nicht von dem entsprechenden Stadium in der Metamorphose der schwarzen Thonschiefer zu unterscheiden.

#### 7. Vergleichung der Contactmetamorphose der Thonschiefer und Phyllite.

Besonders günstig liegen an dem Südabhang der Reuth die Verhältnisse für eine Vergleichung der Metamorphosen, denen Thonschiefer und Phyllite am Granitcontact unterliegen. Beide streichen dort nebeneinander und in verschiedenen Varietäten auftretend gegen den Granit aus.

In beiden Gesteinsarten beginnt die Metamorphose im Wesentlichen mit einer Knötchenbildung, wobei wir von der wesentlich in dem Kohlenstoffreichthum der cambrischen Thon-

Digitized by Google

schiefer begründeten Schwärzung derselben und anderen unbedeutenderen Abweichungen absehen wollen. Die Knötchen erweisen sich in allen Fällen als eine Anhäufung gewisser Gesteinsgemengtheile, der Kohlen- oder Eisenpartikelchen oder auch der Chloritschüppchen in den chloritischen Phylliten. Auf das Stadium der Knötchenbildung folgt gewöhnlich eine solche Stufe, die durch das Auftreten porphyrisch ausgeschiedener Krystalle charakterisirt ist. Diese Krystalle können nun verschiedenen Mineralspecies angehören. In den Thonschiefern der Reuth treten Chiastolithe auf. Ebenso wurde Chiastolithbildung beobachtet in den Thonschiefern des Hainbergs bei Weitisberga (cf. F. E. Müller, die Contacterscheinungen an den Graniten des Hainbergs bei Weitisberga, dies. Jahrb. 1882. II, 205), von Rosenbusch im Erlenthal bei Barr-Andlau (cf. Rosenbusch, die Steiger Schiefer, pg. 186), von H. Credner bei Reumtengrün in Section Auerbach-Lengenfeld (cf. Erläut. zur geol. Specialkarte des Königr. Sachsen, Section Auerbach-Lengenfeld, pag. 20, dies. Jahrb. 1887, I, -433-) in einem Alaunschieferzug, von Clifton Ward im Thonschiefer-Granit-Contact des Lake-Distrikts in Nord-England (cf. Quart. Journal Geol. Soc. London, Vol. XXXII, 1876, pg. 2), sowie in den metamorphosirten Thonschiefern der Bretagne und der Pyrenäen (cf. Barrois, Mémoires de la Soc. géol. du Nord, t. II, 1882, pg. 95), kurz überall, wo Thonschiefer in Contact mit Granit treten. Dagegen treten in phyllitischen Gesteinen, die bei Schamlesberg direct neben den Thonschiefern zum Contact streichen, nach der Knötchenbildung Aggregate von Biotiten auf, die garbenähnliche Gebilde darstellen. Dieselbe Ausscheidung porphyrischer Biotite wurde auch in den metamorphosirten Phylliten anderer Contacte beobachtet und dieses Stadium als das der Frucht- oder Garbenschiefer beschrieben. Wie das von Herrn Ernst Kalkowsky gütigst zur Vergleichung überlassene reiche Material an Schliffen zeigte, treten grössere Biotitblättchen ebenfalls in den am Granit zu Fruchtschiefer metamorphosirten Phylliten vom Lac d'Oo in den Pyrenäen, in den „Fleckschiefern" von Tiepersdorf im Voigtland, in den Fruchtschiefern von Zschorlau am Grossen Schneeberg in Sachsen etc. auf, d. h. überall da, wo Phyllite durch Granit metamorphosirt wurden. Während ferner die Knoten

Digitized by Google

der Knotenglimmerschiefer des Thonschieferhorizonts als in der Entwicklung zurückgebliebene Thonschiefermasse anzusehen sind, entstehen die Knoten des entsprechenden Stadiums der Phyllite durch Anlagerung von Biotitsubstanz an die Garben der „fleckigen Phyllite".

In der Weiterentwicklung werden dann, wie wir schon des Weiteren ausführlich sahen, die Stadien der Metamorphose innerhalb der Thonschiefer und der phyllitischen Schiefer wieder gleich. Die Hornfelse der verschiedenen Horizonte liessen weder makroskopisch noch mikroskopisch einen Unterschied erkennen.

Beide Contactserien, die der Thonschiefer und der Phyllite, unterscheiden sich also an der Reuth dadurch wesentlich, dass nach der Knotenbildung in den Thonschiefern eine porphyrische Ausscheidung von Chiastolith, in den Phylliten eine solche von Biotit eintritt. Dieser Unterschied dürfte, wie die angeführten Beispiele anderer, am Schiefer-Granitcontact beobachteten Metamorphosen erweisen, für die Contactreihen aller Phyllite und Thonschiefer gelten. Danach sind „Chiastolithschiefer" und „Fruchtschiefer" — so dürfte der Contact-Phyllit mit porphyrisch ausgeschiedenen Biotiten wohl am besten zu bezeichnen sein — äquivalente Stadien der Metamorphose, von denen das erstere an Thonschiefer, das letztere an Phyllite gebunden ist. Wenn die Trennung der Thonschiefer-Contactgesteine und der Phyllit-Contactgesteine bisher nicht so scharf durchgeführt wurde, so liegt der Grund dafür wohl hauptsächlich in dem Umstand, dass die Contactserien der beiden Gesteinsarten selten an demselben Granitstock so vollständig auftreten, um eine derartige Vergleichung zu ermöglichen, wie die Gesteine der Reuth sie nahe legen.

Ein so weitgehender Unterschied in der Reaction auf die Einwirkung desselben Granites muss seinen Unterschied in der Zusammensetzung der normalen Gesteine der beiden Contactreihen haben. Eine mikroskopische Vergleichung der Schamlesberger Thonschiefer und Phyllite ergiebt nun, dass dieselben, wenn wir von dem verschiedenen Kohlenstoffgehalt derselben (Glühverlust der schwarzen cambrischen Schiefer = 4,8 %, der der Phyllite = 2,6 %) absehen, sich wesentlich dadurch

Digitized by Google

unterscheiden, dass in den Thonschiefern neben dem Quarz ein faseriges, weissgrünes, Gümbelit-ähnliches Mineral als Hauptgemengtheil auftritt, in den phyllitischen Schiefern und chloritischen Phylliten dagegen Chlorit und Muscovit. Sowohl der faserige Bestandtheil der Thonschiefer, als der Chlorit und Muscovit der Phyllite verschwinden mit der Herausbildung der Chiastolithe, resp. der in Garben gestellten Biotite. Es ist daher die Ansicht naheliegend, dass aus dem faserigen Mineral, das seiner Gümbelit-artigen Beschaffenheit nach offenbar ein wasserhaltiges Thonerdesilicat ist, der Chiastolith, ein wasserfreies Thonerdesilicat, aus dem Chlorit, einem Mg, Al und Fe reichen Silicat und Muscovit aber der Biotit der Fleckschiefer, ein ebenfalls Mg, Al, Fe haltiges und Alkalien führendes Silicat sich bildet. Die Entstehung der Chiastolith- resp. Andalusitschiefer ist demnach an den Gehalt der Thonschiefer an Gümbelit — für den natürlich in anderen Thonschiefern auch ein anderes Thonerdesilicat, wie Sericit eintreten kann —, die von Fruchtschiefer hauptsächlich an den Chloritgehalt der phyllitischen Gesteine gebunden. Damit stimmt auch die Beobachtung überein, dass in den chloritischen Phylliten die Biotitgarben über fünfmal so gross sind, als die in den chloritärmeren phyllitischen Schiefern.

#### 8. Das Verhalten der Chloritschiefer und Amphibolite am Contact

Es erübrigt nun noch eine Besprechung des Chloritschiefers und Amphibolites, die beide, zwischen der Münchberger Gneissmasse und den Thonschiefern streichend, den westlichen Theil des Reuthmassivs berühren. An der Südseite der Reuth sind die von Gümbel eingezeichneten Chloritschiefer leider einer Beobachtung nicht zugänglich, sie sind unter Wiesen und fremdem Gesteinsschutt verborgen. Bessere Aufschlüsse finden sich nördlich der Reuth, wo am Fuss des Galgenberges, in unmittelbarer Nähe des am Kornbach heraustretenden Granites Chloritschiefer anstehen. In der Nähe des Granites bestehen die Felsen aus matten, graugrünen, etwas dickschieferigen Gesteinen, die mit der Entfernung vom Contact in dünnspaltende, dunkelgrüne, stark glänzende und flaserige Schiefer übergehen. Beide Chloritschiefer erweisen sich u. d. M. als stark zersetzt und einer genaueren Vergleichung unfähig. Nur so-

Digitized by Google

viel lässt sich erkennen, dass die flaserigen, aus einer grösseren Entfernung vom Granit entnommenen Schiefer eine aus Quarz und weniger Orthoklas bestehende Grundmasse besitzen, in der neben zahlreichen schwarzen Opaciten jedenfalls aus Chlorit hervorgegangene faserige, viriditische Zersetzungsproducte enthalten sind und dass diese sogenannten „Chloritschiefer", wenn man den Begriff der „Chloritschiefer" auf die vornehmlich aus Chlorit bestehenden Gesteine beschränkt, der Gruppe der „Chloritgrünschiefer" (cf. KALKOWSKY, Elemente der Lithologie. 1886, 217) einzureihen sind. Die mattgrauen Gesteine vom Contact zeigen grössere, im Schliff porphyrisch hervortretende, vollständig ausgebildete Epidotkrystalle. Ob letztere jedoch einer Contactwirkung zuzuschreiben sind, liess sich nicht mit Sicherheit entscheiden.

Besser waren die Beziehungen des Amphibolites zum Contact aufgeschlossen. Derselbe ist zu beiden Seiten des Kornbachs am Granit anstehend zu finden. Makroskopisch ist an dem tiefgrünen, feinkörnigen und massigen Gestein keine Veränderung nach dem Granit zu bemerkbar, wohl aber zeigt das Mikroskop eine tiefgreifende Metamorphose. Die Amphibolite, welche weiter vom Contact entlegenen Parthien entnommen sind, führen als Hauptbestandtheil eine stark pleochroitische (c = blaugrün, b = gelbgrün), faserige Hornblende, die wohl als „gemeine Hornblende" anzusprechen ist, dazwischen eine körnige, durchsichtige Grundmasse. Da nur wenige der Körner Zwillinge oder wolkige Trübung infolge Zersetzung zeigen, gehört die grössere Menge derselben jedenfalls dem Quarz und nur der geringste Theil dem Orthoklas an. Ferner enthält das Gestein zahlreiche schwarze Eisenmineralien und helle Körner primären Epidots eingestreut. Am Contact besteht jedoch dem Augenschein nach vollständig frisches Material aus kleinen, zerschlitzten und stark dichroitischen (gelbgrün und tiefgrün oder blaugrün) Chloritblättchen, die nur wenig bei einer Drehung des Polarisators aufhellen. Öfters lassen sich Pseudomorphosen von Chlorit nach Hornblende beobachten. Epidot tritt in kleinen xenomorphen Körnern und Turmalin in einzelnen Säulchen auf. Die Quarz-Orthoklas-Grundmasse zeigt keine Veränderung. Bemerkenswerth ist, dass die Magnetit- und Eisenglanzpartikelchen vollständig unzersetzt erscheinen.

Digitized by Google

### 9. Die Einwirkung des Granites.

Dass die Ursache der Metamorphose aller jener Gesteine, die die Granitmassive umgeben, in dem Eindringen des Granites in die Sedimente zu suchen ist, bedarf längst keiner Erörterung mehr. Aber wenn man auch darüber einig ist, dass die Contactphänomene einer Einwirkung des Granites ihre Entstehung verdanken, so bildet die Art dieser Einwirkungen doch noch den Gegenstand zahlreicher Controversen. Es möge daher dem Verfasser gestattet sein, die Ansicht über die Art der Einwirkung des Granites, wie sie die vergleichende Untersuchung der ganz verschieden metamorphosirten Gesteine der Reuth nahe legt, auszuführen. Wie bekanntlich eine ganze Reihe an anderen Contactserien angestellter Analysen ergeben hat, findet ausser einer Wasser- und Kohlenstoffabgabe keine Veränderung der chemischen Bestandtheile, besonders auch keine weitergehende Stoffzufuhr statt. Dies beweist auch schon das Factum, dass sich an der Reuth den verschiedenen Gesteinsmaterialien entsprechend, ganz verschiedene Contactmineralien gebildet haben. Bei einer Stoffzufuhr müssten in den Amphiboliten, Phylliten und Thonschiefern, die ja alle dieselben Basen enthalten, mehr oder minder gleiche Mineralien sich gebildet haben, wie dies thatsächlich der Fall ist, wo Borsäure auf die genannten Gesteine einwirken konnte. An der Südreuth hat sich sowohl in den Phylliten und Thonschiefern, als auch in den Amphiboliten durch Einwirkung von Borsäure Turmalin gebildet. Die Contactphänomene der Reuth lassen also sonst nur auf physikalische Agentien, die beim Heraufbrechen des Granites wirksam waren, schliessen. Die erste und am weitesten reichende physikalische Wirkung des Eruptivgesteines scheint in einer intensiven Erhitzung des Nebengesteins bestanden zu haben. Dafür spricht die Umwandlung des Eisenhydroxyds in Magnetit, der Kohle in Graphit, des Gümbelits der obercambrischen Thonschiefer in Chiastolith, des Chlorites der Phyllite in Biotit. In den meisten Fällen hat also eine Wasserabgabe stattgefunden. Für die Contactmetamorphose in grösserer Nähe des Granites muss jedoch die Mitwirkung erhitzter Wasserdämpfe angenommen werden. Vor allem ist dies der Fall bei der Erklärung einer

Digitized by Google

Metamorphose der Hornblende der Amphibolite in Chlorit und, wenn der Epidot der Chloritgrünschiefer contactmetamorphen Ursprungs, auch bei dem Versuch, dessen Ursprung zu erklären. Beide, Chlorit und Epidot, entstehen auch sonst aus Hornblende durch den Einfluss der Bergfeuchtigkeit. Dass aber nicht letztere, sondern nur erhitzte Wasserdämpfe gewirkt haben können, zeigt uns der frische Erhaltungszustand der Magnetit- und Eisenglanztheilchen, die unter der Wirkung der Gebirgswässer leicht in Hydroxyde übergehen, gegen erhitzten Wasserdampf aber resistenter sind. Der Eisenglimmer des Vesuvs wird ja direct durch heissen Wasserdampf aus $FeCl^3$ gebildet. Weiter weisen die Wiederauflösung der grossen Andalusitnadeln im Hornfels und die gleichzeitige Zunahme des Quarzgehaltes, sowie die bereits beschriebenen und von Barrois in den Pyrenäen ebenfalls beobachteten Corrosionserscheinungen der braunen Biotite im Muscovit des Hornfels auf die Einwirkung heissen Dampfes oder erhitzten Wassers hin. Wie die gestreckten Knötchen der Phyllite vermuthen lassen, haben als drittes Agens vom Granit ausgehende Druckkräfte gewirkt. — Andauernde Hitzewirkung würde also das hauptsächlichste metamorphosirende Agens für die ersten und äusseren Stadien der Contactserie, die Schwarzschiefer, Knotenthonschiefer, Chiastolith- und Fruchtschiefer sein, der Einfluss heissen Wassers dagegen die höheren Stadien der Metamorphose besonders bewirkt haben.

### 10. Der Münchberger Stadtwald und die allgemeine Natur des Massivs.

Eine nothwendige und zugleich interessante Vervollständigung des bei Schamlesberg Gefundenen war eine Untersuchung der nördlich der Reuth anstehenden Gesteine. Dort mussten die südlich der Reuth ausstreichenden Horizonte ihre Fortsetzung finden und sich manche Ergänzung resp. Berichtigung ergeben.

Die nördlich des Kornbachs auftretenden, obercambrischen Thonschiefer, welche — wie bisher unbekannt war — ebenfalls reiche Chiastolithbildung zeigen und zuletzt zu Chiastolith-führendem Hornfels metamorphosirt werden, sowie die, mikroskopisch kleine Chiastolithe- und Knötchen-führenden, silurischen Thonschiefer sind sogleich im Anschluss an die

Digitized by Google

LIBRARY OF THE UNIVERSITY CALIF.

gleichen Horizonte der Südreuth besprochen worden. Beide, cambrische und silurische Gesteine, zeigen ein nordöstliches Streichen und laufen am Waldstein in einen zweiten Contacthof ein. Das genauere Streichen und Fallen der Schichten liess sich im Münchberger Stadtwald nirgends bestimmen. wodurch wohl auch irrthümliche Angaben über die Natur der dortigen Gesteine erklärbar sind. Von Gümbel bezeichnet nämlich jene im Liegenden des Obercambriums auftretenden Gesteine, welche den Galgenberg und Münchberger Stadtwald bilden, in einem breiteren westlichen Streifen als „Fleckenphyllit" und in einem östlich darin sich anschliessenden Theil als „fleckigen und gneissartigen Glimmerschiefer" und betont dabei, dass diese Gesteine — im Gegensatz zu der früher von Naumann ausgesprochenen Ansicht — jedenfalls nicht durch den Einfluss des angrenzenden Granites metamorphosirt seien[1]. Es widerstreite keiner Thatsache, wenn man annehme, dass schon vor dem Granitaufbruch der jetzt an seiner Grenze verbreitete „Glimmerschiefer" eigenthümlich entwickelt gewesen sei. An einer anderen Stelle (pg. 163) wird der „Fleckenglimmerschiefer" als ein fortgeschrittenes Stadium des zersetzten und umgebildeten normalen Glimmerschiefers angesehen. Dem benachbarten Granit fällt bei dieser Umwandlung keine andere Rolle zu, als dass derselbe bei seinem Hervorbrechen eine grossartige Zersetzung bewirkte, welche jene Umbildung begünstigte, vielleicht geradezu veranlasste. Nach pg. 330 „lässt sich die ganze Erscheinung ebenso gut als eine ursprüngliche und örtliche Ausbildungsweise (Facies) auffassen, als sich von einer Metamorphose, die materiell auf grosse Schwierigkeiten stösst, ableiten".

Abgesehen davon, dass schon die angeführten verschiedenen Erklärungsweisen zeigen, wie schwierig eine Deutung der betreffenden Phänomene durch andere als Contactkräfte ist, spricht auch schon der Umstand, dass von Gümbel für die besprochenen Gesteine Umschreibungen gebraucht, die direkt auf Contactgesteine und deren Eigenthümlichkeiten hinweisen, gegen seine Deutung der Gesteine. Er ist genöthigt (pg. 330), von „cornubianit-artigen Fleckschiefern", von „Fleckenglim-

[1] cf. Geognostische Beschreibung des Fichtelgebirges, p. 165.

Digitized by Google

merschiefer, der in Fleckenphyllit und gneissartige Schiefer (Cornubianite) übergeht" und von „hornfelsartigem Quarzit" zu sprechen. Er muss angeben, dass cambrische Schiefer (pg. 384) immer mehr den Charakter von Fleckschiefer annehmen, je mehr man sich dem Granit nähert, bis sich endlich ein fleckiger quarzitischer Glimmerschiefer einstellt, der sich aber nicht als echter Glimmerschiefer erweist! Für die Erklärung des Fleckschiefers von Gefrees (pg. 166) muss ein verschiedener Grad der Umbildung unter gleichzeitigem Einflusse der Zersetzung von braunem Glimmer, Magnetit etc. angenommen werden, durch den aus der Zwischenmasse der Schiefer verschiedenartige Neubildungen hervorgehen, die für den „fleckigen Glimmerschiefer" typisch sind. — Die Erklärung der beiden Contactzonen an der Waldstein-Reuthkette und Ochsenkopf-Schneebergkette (pg. 330) führt zu der Annahme, dass die von N.O. beistreichende centrale Glimmerschiefergruppe gegen Weissenstadt sich in zwei Äste gabelt und als schmale Zone an den beiden Granitmassiven sich hinzieht, sich dabei verschmälert und mit der Verschmälerung eine abweichende Beschaffenheit, die in einem Übergang in Fleckenphyllit besteht, annimmt. „Zuletzt gewinnt diese fleckige, thonige Ausbildung so sehr an Übergewicht, dass man zweifelhaft ist, ob man das Gestein naturgemäss dem Glimmerschiefer oder Phyllit zutheilen soll." Gegen die Anschauung einer einfachen Faciesänderung spricht schon die pg. 167 gemachte Angabe, dass in dem schmalen Streifen des am Granit hinlaufenden Fleckenglimmerschiefers charakteristische accessorische Bestandtheile, so vor allem Andalusit (!) auftreten.

Eine Untersuchung des Münchberger Stadtwaldes ergab nun, dass im Liegenden der schon besprochenen Chiastolithschiefer des oberen Cambriums auch nordwärts der Reuth, auf der Höhe zwischen Waldstein und Reuth und genau in der durch die Reuth fortgesetzt gedachten Streichungsrichtung der Schamlesberger untercambrischen „phyllitischen Schiefer" Gesteine auftreten, die jenen bei Schamlesberg aus dem phyllitischen Schiefer hervorgegangenen, makroskopisch und mikroskopisch vollständig gleichen. Die Hornfelse sind meist unter dem Kornbach-Schotter verborgen; dann folgt eine bis

Digitized by Google

zum Waldstein sich erstreckende Zone Andalusitglimmerfels und im Münchberger Stadtwald ein breiter Streifen Fruchtschiefer, in dem die Saalquelle liegt. Diese Fruchtschiefer lassen deutlich die Fältelung und den Glanz des phyllitischen Schiefers erkennen, sie zeigen ferner dieselben schwarzen — verwittert rothen — Garben und dazwischen die zahllosen schwarzen Nädelchen, wie die phyllitischen Contactgesteine von Schamlesberg. Nach dem Waldstein zu bildet sich wieder Andalusitglimmerfels und Hornfels aus. Weiter nach Osten lässt sich ferner in der Streichungsrichtung der Schamlesberger chloritischen Phyllite dunkelgrüner Andalusitglimmerfels in einer schmalen Zone finden.

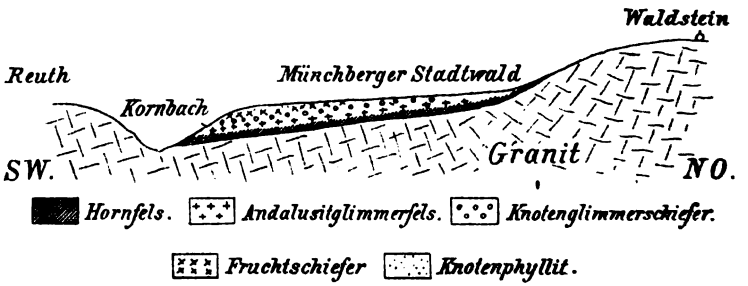
Es ergibt sich demnach, dass das an der Süd-Reuth ausstreichende Schichtensystem nördlich des Reuthstockes in nordöstlicher Streichungsrichtung sich nach dem Waldstein fortsetzt und nicht, wie von Gümbel die Verhältnisse deutet, von Weissenstadt aus ein Glimmerschieferhorizont mit veränderter Facies zwischen Reuth und Waldstein streicht. Daraus aber, sowie ferner aus dem Umstand, dass die Grenzen der Zonen conform den Contouren des Granites und unabhängig von dem Streichen der Schichten laufen, sowie ferner daraus, dass die Zonen den an der Südseite der Reuth beobachteten Contactzonen genau entsprechen, folgt weiter, dass sie ebenfalls im Contact metamorphosirt sind. — Zwar zieht sich von Kornbach aus an der Westseite dieser Contactzonen ein an vielen Stellen aus dem Waldboden hervortretender Granitzug bis in die Nähe des Waldsteins, dem zunächst die höchsten Stadien der Contactmetamorphose sich finden, jedoch sind die Zonen so ausserordentlich breit, dass angenommen werden muss, es ziehe sich unter dem mit Contactgestein bedeckten Höhenzug Granit hin, so dass die Granitstöcke des Waldsteins und der Reuth unterirdisch verbunden und verschieden hoch emporgetretene Theile ein und derselben Granitmasse sind. Ein vom Waldstein durch die Kammlinie des Münchberger Stadtwald-Höhenzuges nach der Reuth gelegtes ideales Profil wird dies am besten erläutern (s. S. 674).

Die Annahme einer unterirdischen Verbindung des Reuth- und Waldsteingranites wird dadurch bestätigt, dass die Granite der beiden Stöcke (cf. Abschn. 2) sich gleichen und nur



Digitized by Google

eine allmähliche Zunahme der Korngrösse von der Südreuth nach dem Waldstein zu beobachtbar ist, eine Erscheinung, welche die Reuth als randliche Partie gegenüber der grösseren Centralmasse des Waldsteins erkennen lässt. Ein Blick auf die Karte zeigt nun, dass die Massive der Reuth-Waldstein-Kornbergkette auf einer Linie liegen, die in den stark durch Verwerfungen gestörten, ursprünglich hangenden, jetzt randlichen Schichten der Münchberger Gneissinsel und parallel dieser Gneissmasse läuft. Einen dieser Verwerfer, der Silur und Chloritschiefer trennt, lernten wir in Abschnitt 1 kennen. Derselbe streicht von S.W. auf die Reuth zu und in seiner Streichungsrichtung liegen Waldstein und Kornberg, so dass die Annahme, die Granitmassen jener drei Massive seien unterirdisch verbunden und auf dieser oder einer ihr parallelen

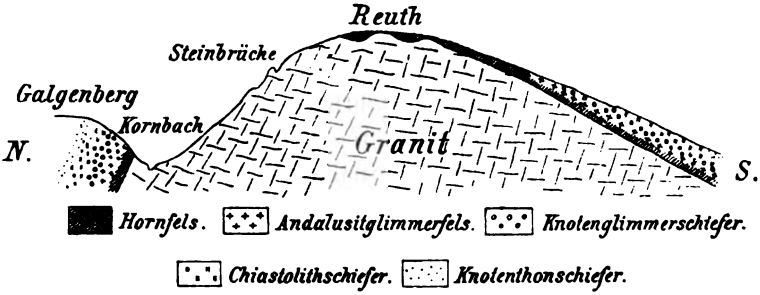



Spalte herausgetreten, wohl ihre Berechtigung hat. Daraus folgt dann direkt, dass das Heraufbrechen des Granites im causalen Zusammenhang mit den tektonischen Störungen am Rande der Münchberger Gneissmasse steht und zwar so, dass es eine Folgeerscheinung, nicht die Ursache jener Störungen ist. Es ist noch anzuführen, dass die Breite der Contactzonen an der Südseite der Reuth (1700 Schritte) auf eine weitere Ausdehnung des Granites nach Südwesten, also auch in der Streichungsrichtung der Kornbergskette hinweist, dass ferner an der Nordwestseite des Massivs, am Galgenberg, also in der Richtung nach dem Gneiss zu, die Contactzonen ausserordentlich schmal (kaum 300 Schritte breit) sind und die Chiastolith-führenden Hornfelse auftreten, Erscheinungen, die eine weniger intensive Wirkung des Granites erkennen lassen und gegen eine Unterlagerung dieser Schiefer durch Granit,

Digitized by Google

d. h. gegen eine Ausdehnung des Granites nach dem Gneiss zu und für einen Steilabfall des Eruptivgesteins im N.O. der Reuth sprechen. Das beigegebene ideale Nord-Südprofil durch den westlichen Theil des Reuthstockes soll die besprochene Lagerung der Contactzonen verdeutlichen.

Idealprofil durch die Reuth.




Ebenso wie der unter dem Münchberger Stadtwald liegende Theil des Granits noch jetzt verborgen ist, war wahrscheinlich einstmals auch das Reuthmassiv von Schiefern bedeckt, und ist es erst später entblösst worden. Für eine frühere Bedeckung durch metamorphosirte Gesteine spricht unter anderem der Umstand, dass die Contactzonen von Süden aus sich weit über die Höhe der Reuth nach dem Nordabhang hinziehen und der Hornfels in Mulden des Granites liegt. Die Nordseite der Reuth ist offenbar vom Kornbach blossgelegt worden, der dort die Reuth-Waldsteinkette durchbrochen hat, vielleicht, da er gerade an der Grenze des — dort steil nach Nord einfallenden — Granites gegen den Schiefer fliesst, unter Benutzung einer Spalte, die durch Losspringen des Granites von den Contactgesteinen entstanden ist. Wie Rosenbusch (Mikr. Physiogr. 2. Aufl., Bd. II, p. 38) angibt, ist das specifische Gewicht des Granitglases oder Schmelzflusses ein bedeutend niedrigeres, als dasjenige eines krystallisirten Granitgesteins. Es muss daher eine Art molecularer Verdichtung beim Krystallisiren stattfinden, die zu Drusenbildungen, unter besonderen Umständen wohl aber auch zu einer Zusammenziehung grösserer Theile des Massivs führen kann. Damit sind aber die Bedingungen zu zahlreichen an den Grenzen des Massivs verlaufenden Spalten gegeben.

Digitized by Google

Auf solche Grenzspalten weisen u. A. die Angaben Durocher's[1], sowie die von Charles Barrois[2] über das Hervorbrechen von Thermalwassern am Granit hin. Barrois sagt: „On sait que sur les deux versants des Pyrénées, il y a de nombreux gisements d'eaux thermales sulfureuses et presque toujours le point d'emergence des sources est situé près de la séparation du granite et des roches paléozoïques. Il en est de même dans les Asturies." Auf die angegebenen Krystallisations- und Abkühlungsphänomene lassen sich auch die in manchen Steinbrüchen der Reuth beobachtbare schalige Absonderung des Granites, sowie das Auftreten von Apatit und Turmalin im Contactgranit und von Turmalin im Contactschiefer zurückführen, da die beiden genannten Mineralien auf die Einwirkung von in erhitztem Wasser oder in Dampf enthaltenen Säuren — Borsäure und Phosphorsäure — und damit auf Fumarolenbildungen schliessen lassen, die ihrerseits wieder Spaltenbildungen voraussetzen. Dabei ist hervorzuheben, dass, wie die in Abschnitt 2 gemachten Angaben erweisen, die Apatitbildung noch während der Verfestigung des Granitmagmas, kurz nach der Ausscheidung des Glimmers begonnen hat.

Die vorliegende Arbeit wurde im mineralogischen Institut der Universität Jena angefertigt. Möge es dem Verfasser erlaubt sein, dem Leiter des Institutes, Herrn Professor Dr. Kalkowsky, auch an dieser Stelle seinen verbindlichsten Dank auszusprechen für die so reichlich im Hörsaal und auf der Excursion empfangene wissenschaftliche Anleitung und speciell für die Anregung zu der vorliegenden Untersuchung.

[1] Bull. Soc. géol. de France, 2e sér. T. X, 1853, p. 424. Essai sur le terrain de transition des Pyrénées. Ann. des mines, T. VI, p. 104.

[2] Mémoires de la soc. géol. du nord, T. II, 1882, p. 107.

Digitized by Google

Fig. 2.

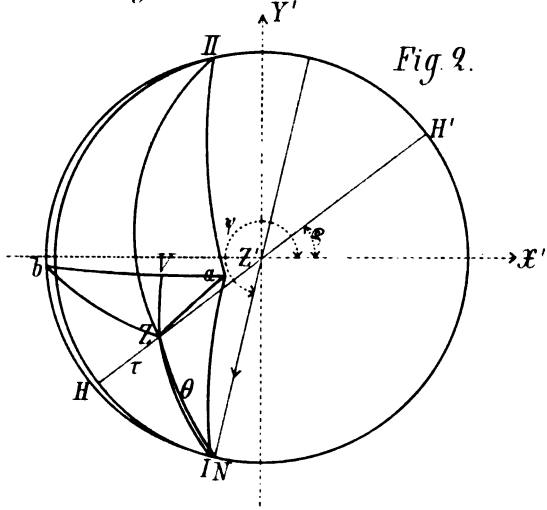



Fig. 1.

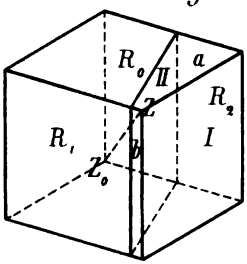



Fig. 3.

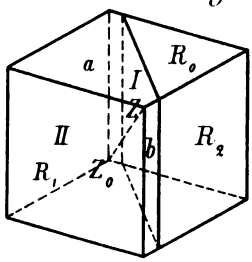
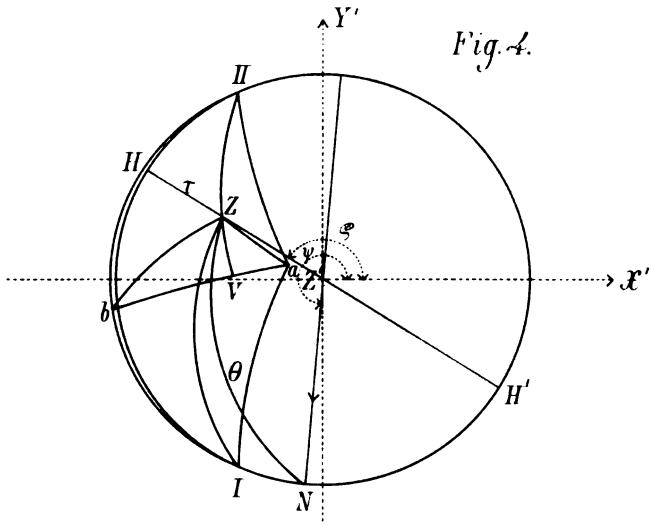
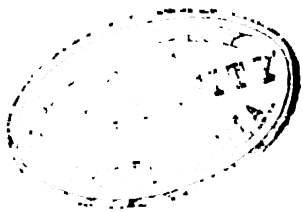



Fig. 4.






Digitized by Google



Digitized by Google

Fig. 5.

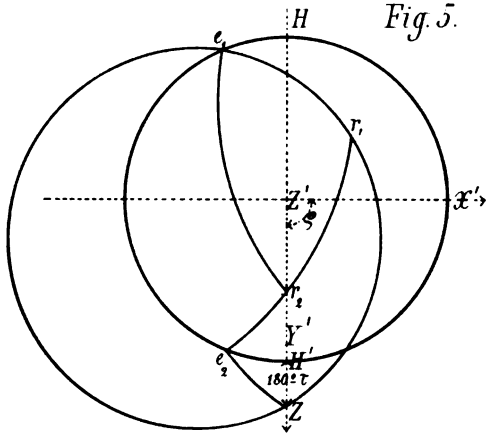



Fig. 6.

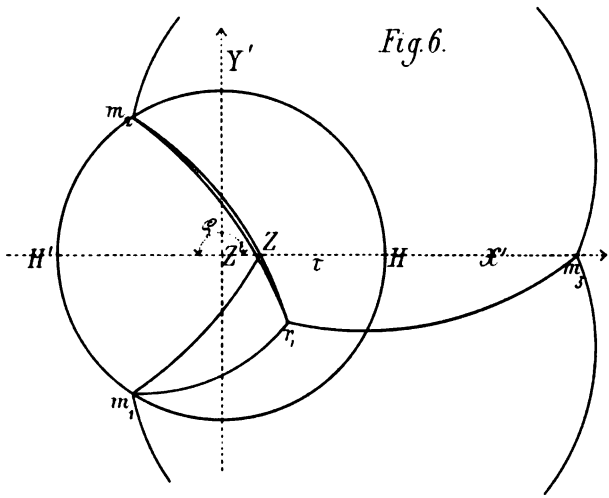
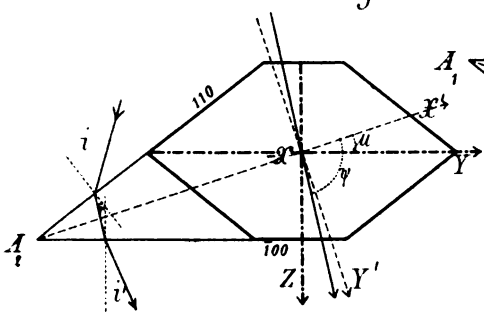
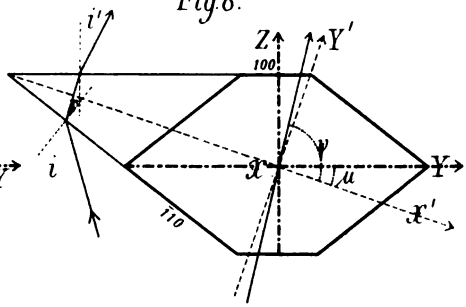



Fig. 7.




Max Born gez.

Fig. 8.

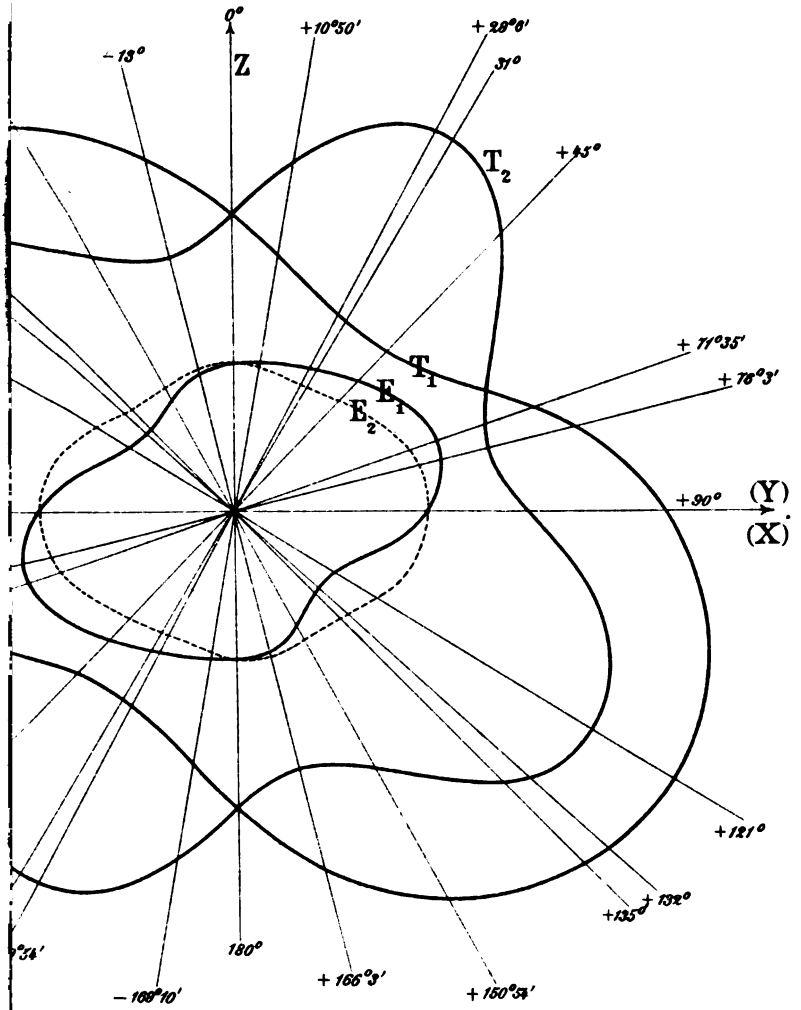



Lith. Inst. v. A. Henry, Bonn.

Digitized by Google

Digitized by Google

# Fig. 2.




Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

1.

2.

$\frac{2}{3}$.

3.

A. J. Wendel del. et lith. P. W. M. Trap impr.

Digitized by Google

Digitized by Google

*Fig.* 1.

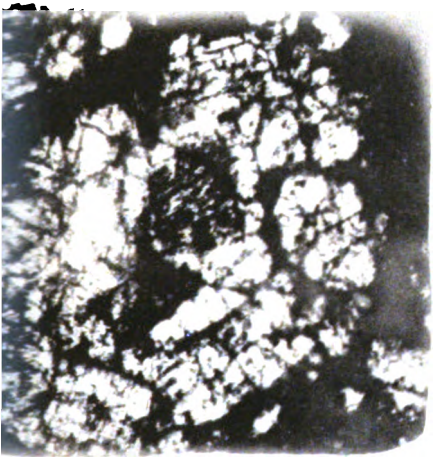


*Fig.* 2.

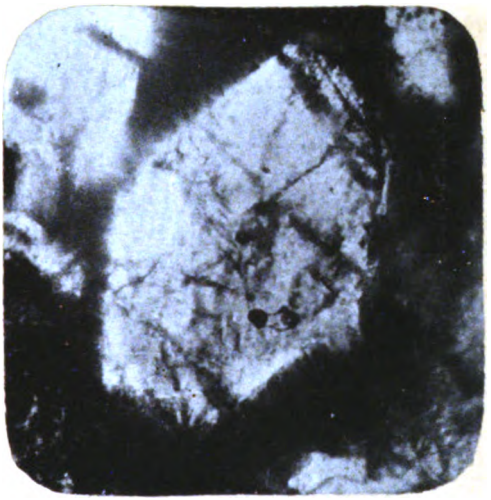


*Fig.* 3.

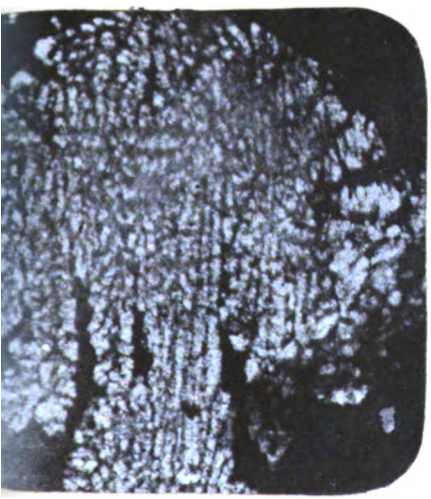
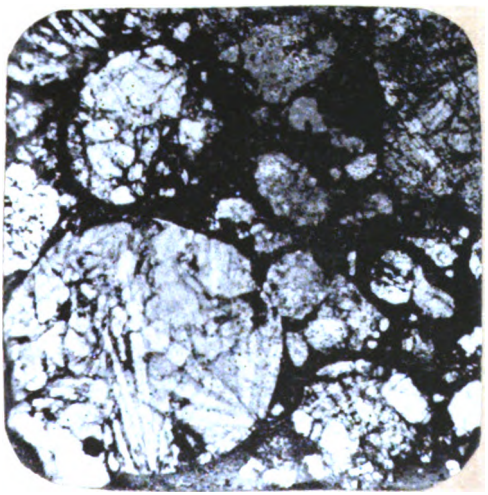


*Fig.* 4.



Phototypie von F. Gräfe, Delft.

Digitized by Google

Digitized by Google

*Fig.* 5.

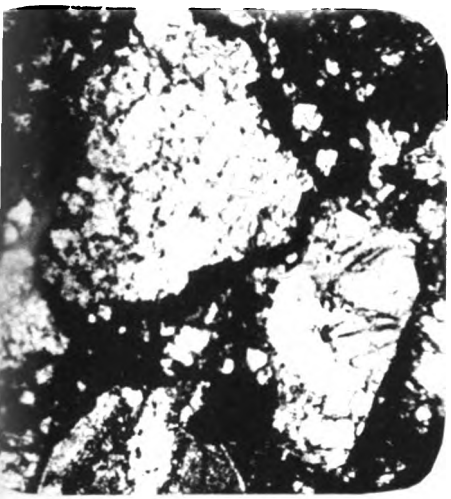


*Fig.* 6.

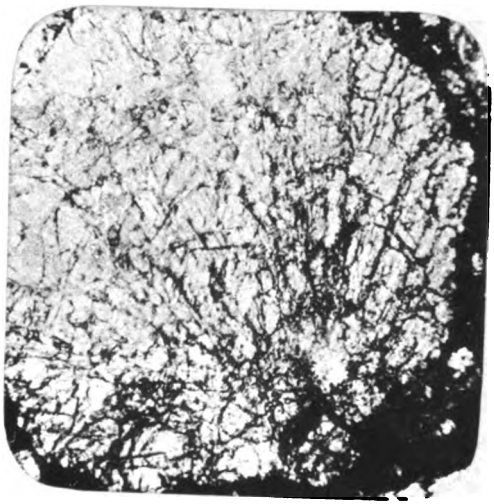


*Fig.* 7.

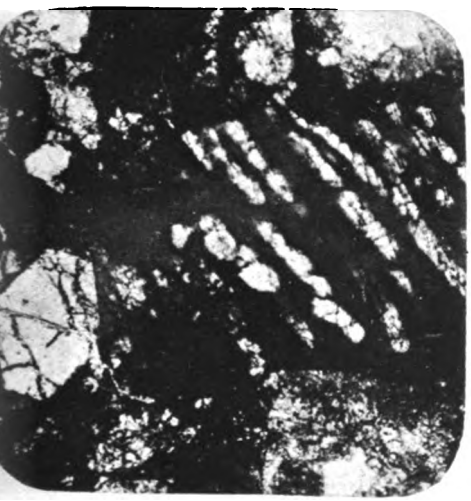


*Fig.* 8.

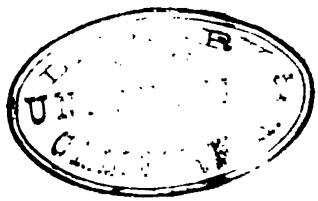
Phototypie von F. Gräfe, Delft.

Digitized by Google

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF
CALIFORNIA

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

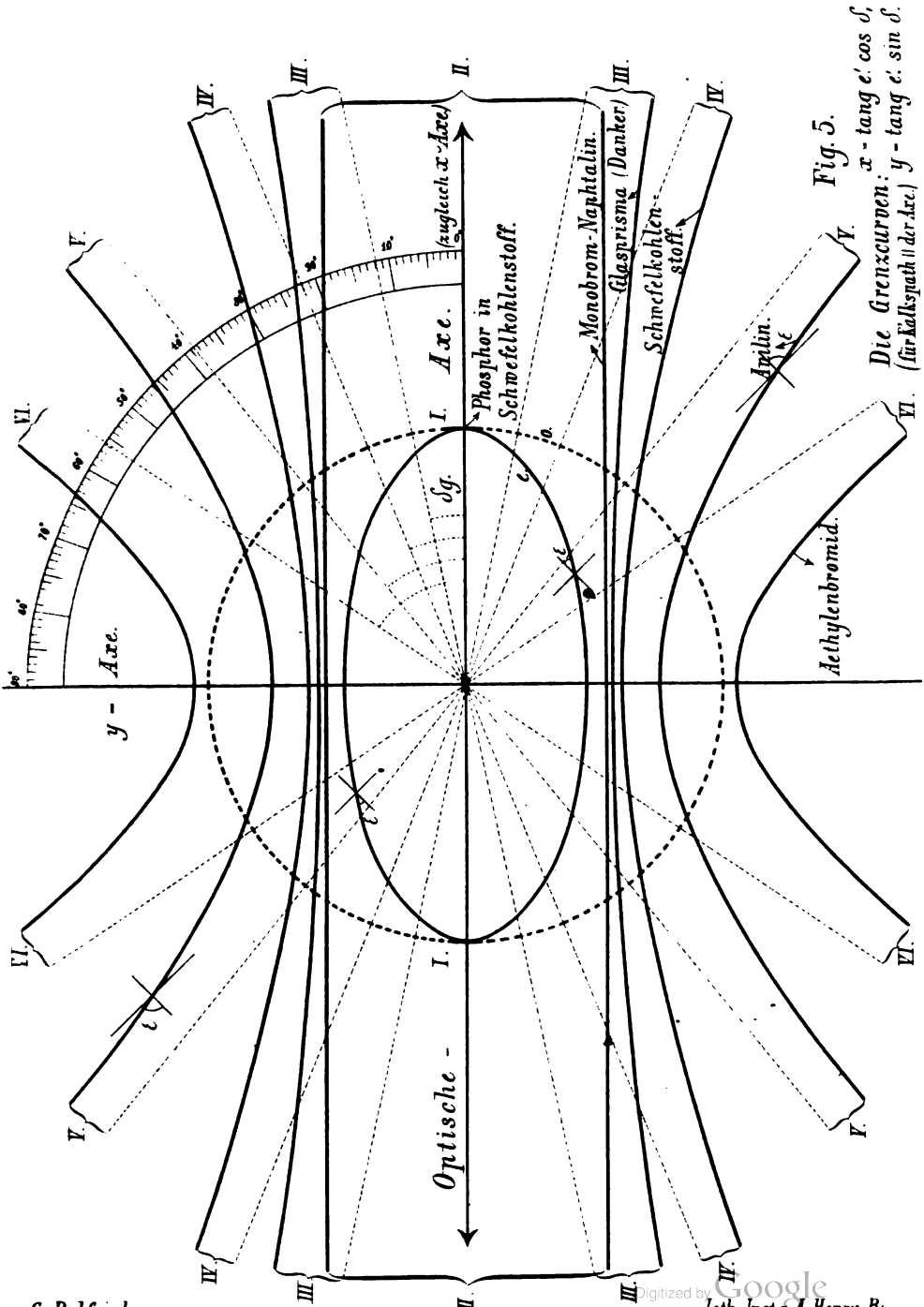
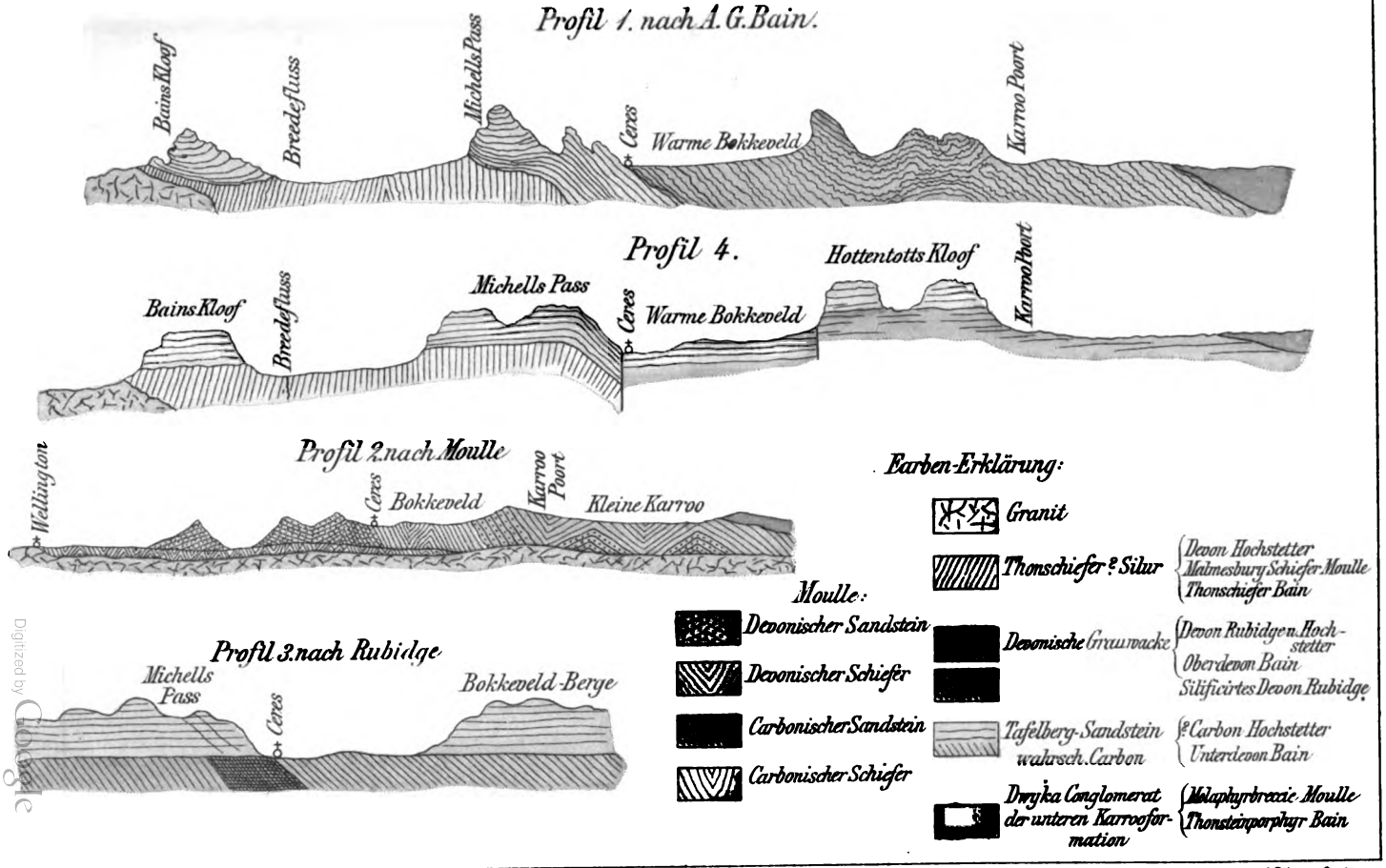



Fig. 5.
Die Grenzcurven: x - tang e' cos δ, y - tang e' sin δ.
(für Kalkspath ∥ der Axe.)

C. Pulfrich gez. Lith. Inst. v. A. Henry, Be

Digitized by Google

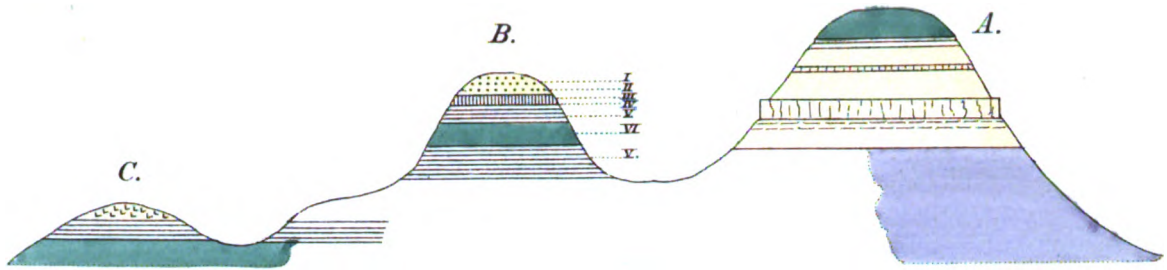
Digitized by Google



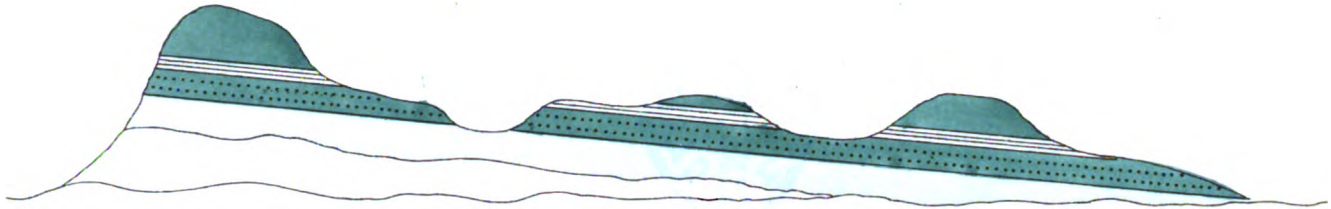

Digitized by Google

Lith. Anst v. Ebenhausen & Eckstein, Stuttgart

Digitized by Google




*Profil 1. Vollkranz bei Fauresmith, Oranje Freistaat.*



*Profil 2. Spitzkop unw. Du Toits Pan, Griqualand-West.*

- *Aschgraue u. violette Schiefer*
- *Sandige Schiefer*
- *Geflammte Sandsteinschiefer*
- *Feste Sandsteinbänke*
- *Thoniger Sandstein*
- *Gehärteter Sandstein*
- *Geflammter Hornfels*
- *Lyditähnlicher Hornfels*
- *Aschgraues, muschlig brechendes Gestein*
- *Mittelkörniger Olivindiabas*
- *Feinkörniger Olivindiabas*
- *Geröllüberschüttung.*

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 21.

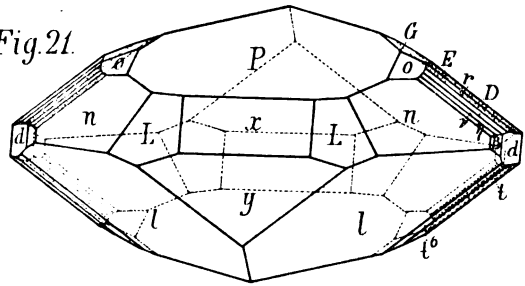
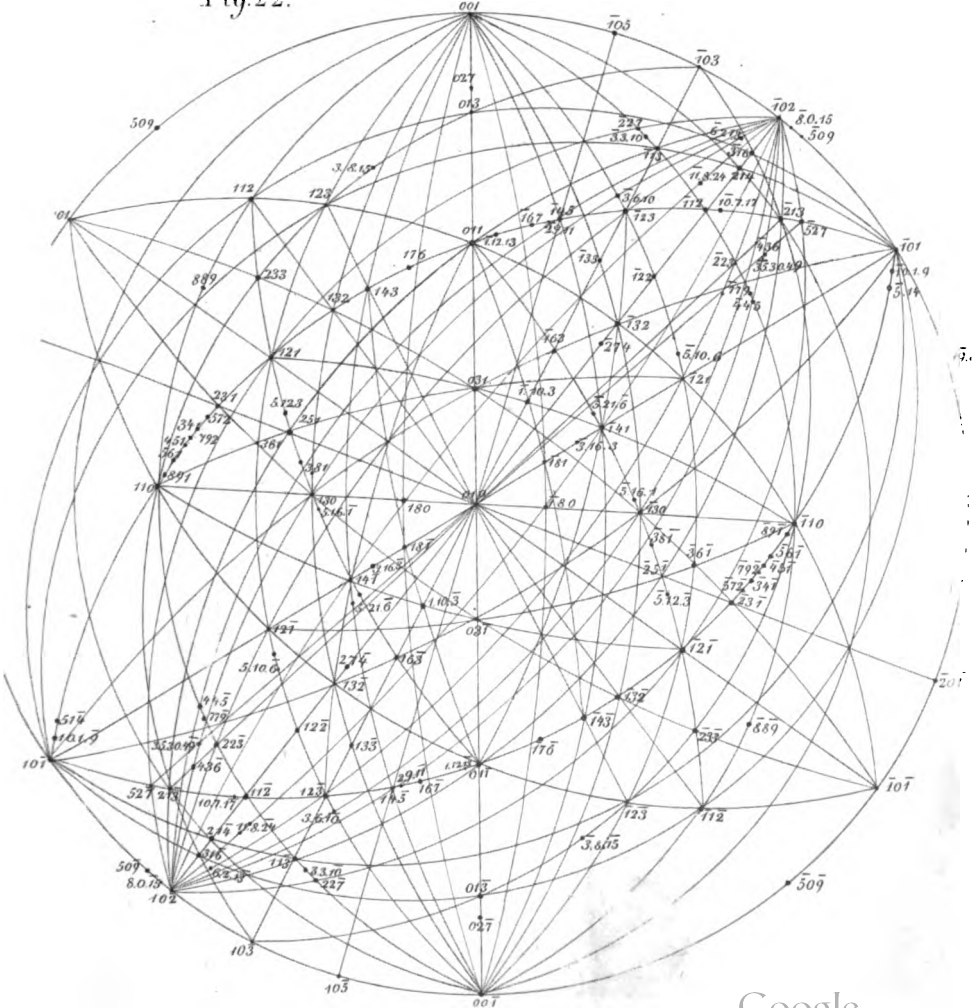
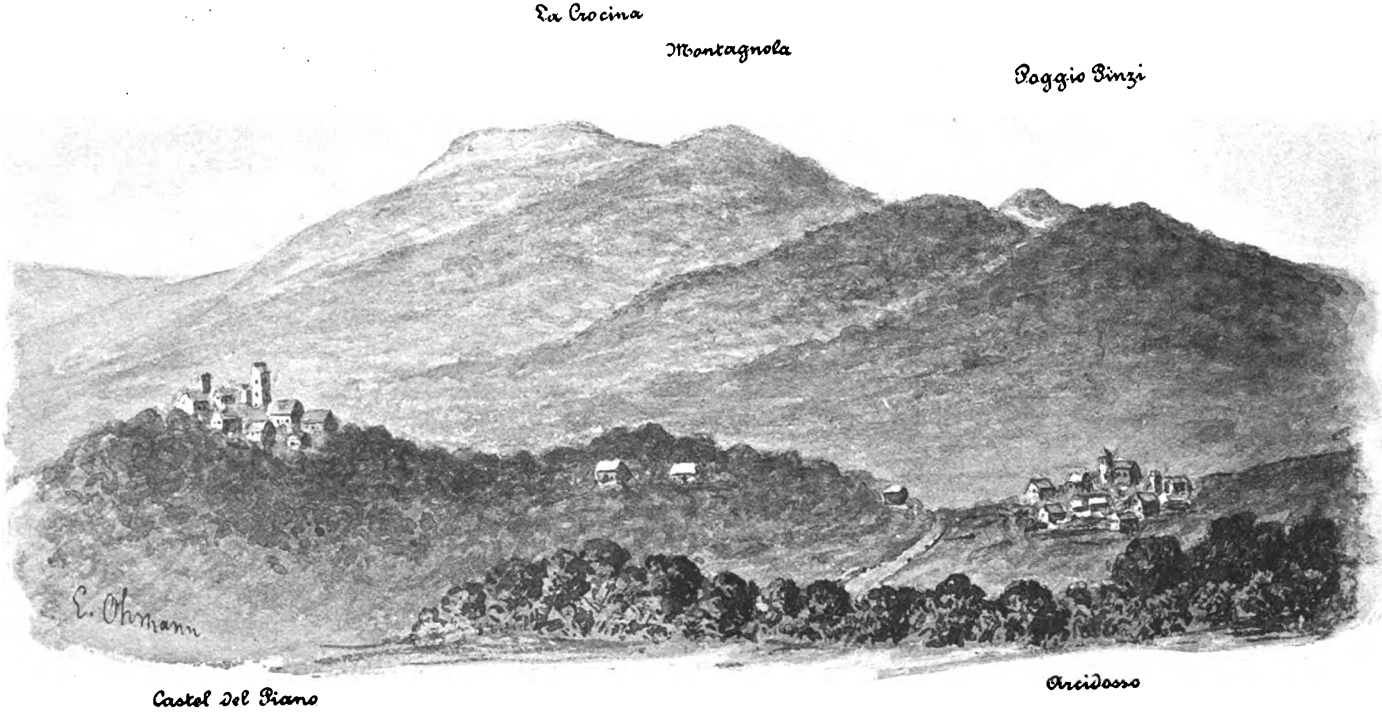



Fig. 22.



Digitized by Google
Lith. Inst. v. J. Henry Bonn

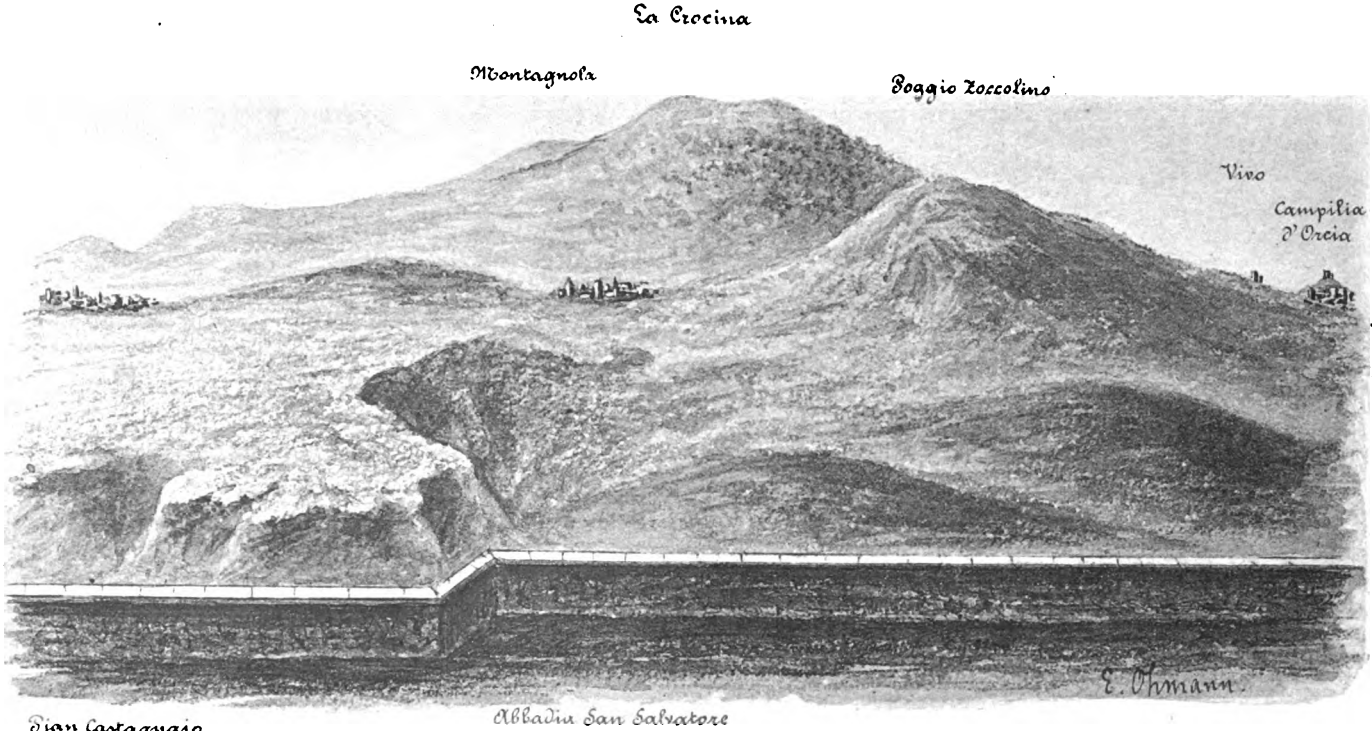
Digitized by Google




Monte Amiata von Montelaterone aus.
nach der Originalaufnahme von J. F. Williams.

Digitized by Google

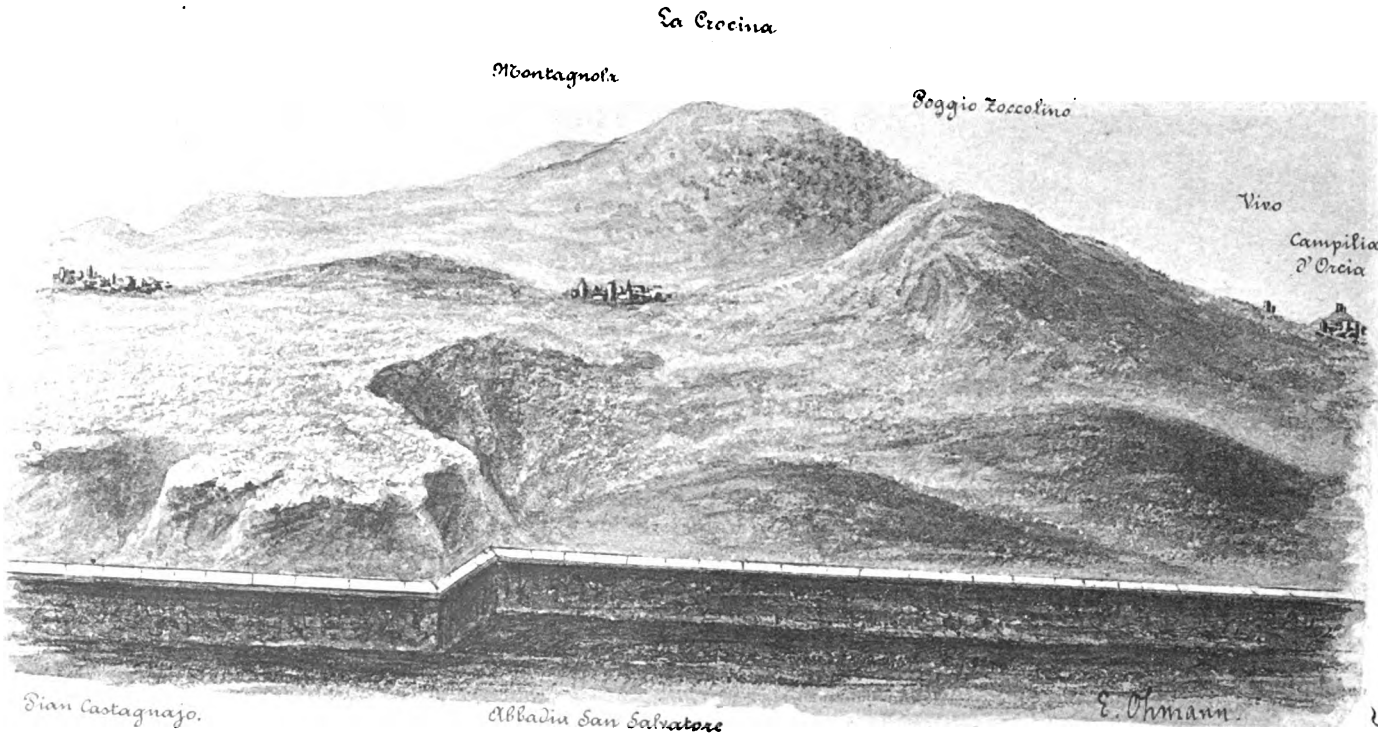
Digitized by Google




Monte Amiata von Radicofani aus.
nach der Originalaufnahme von J. F. Williams.

Digitized by Google

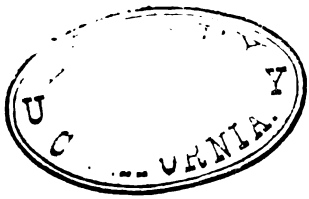
Digitized by Google




Taf. XIV.

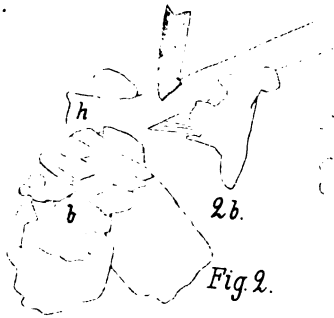
Monte Amiata von Radicofani aus.
nach der Originalaufnahme von J. F. Williams.

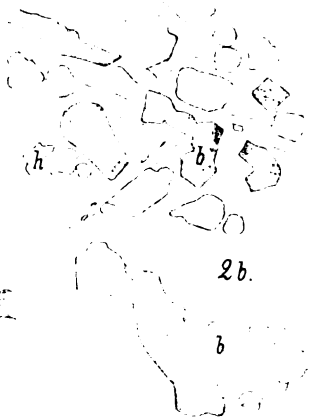
Digitized by Google

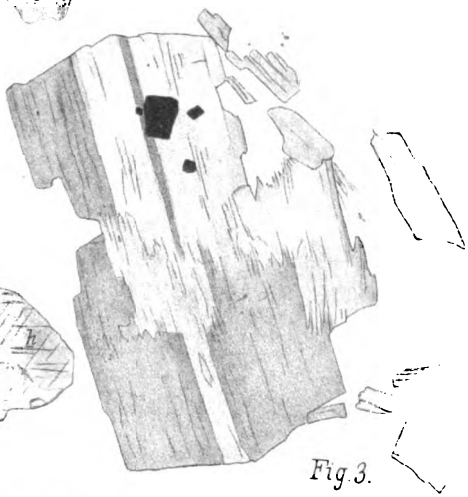


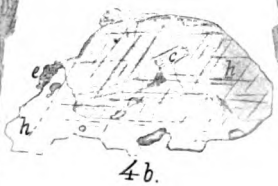

Digitized by Google

Google





Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 6.

Fig. 10.

Fig. 9.

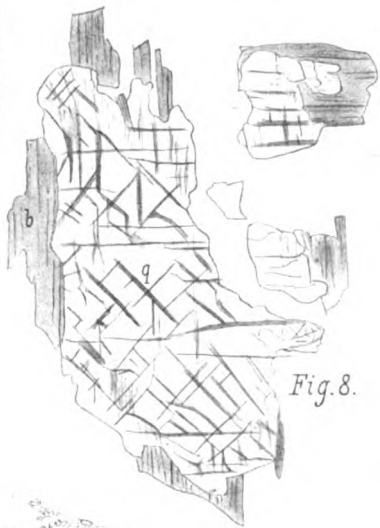



Fig. 8.

Fig. 11.

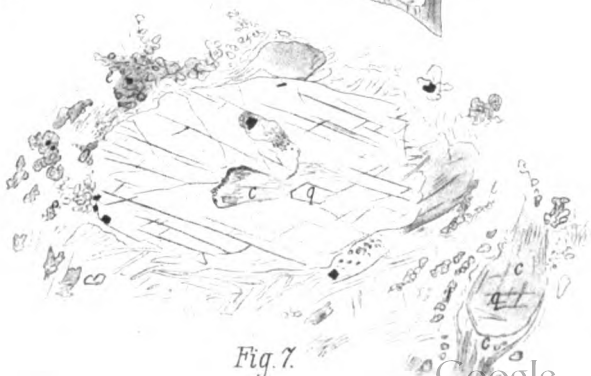


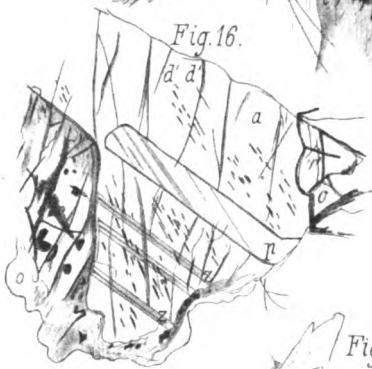

Fig. 7.

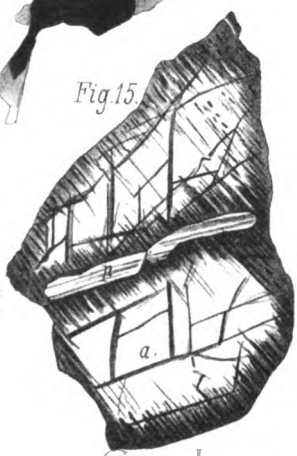
Digitized by Google

M. Schuster del.

Digitized by Google

Fig. 14.

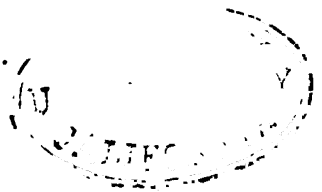




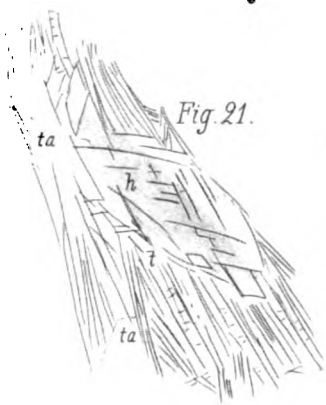

M. Schuster del.

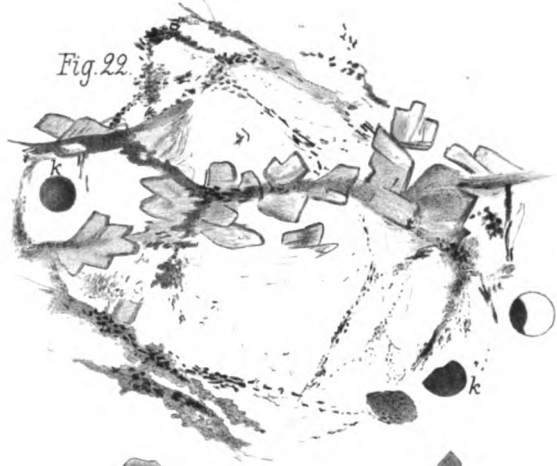
Digitized by Google

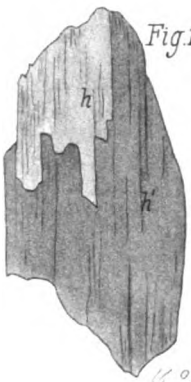
Lith. Inst. v. A. Henry, Wien

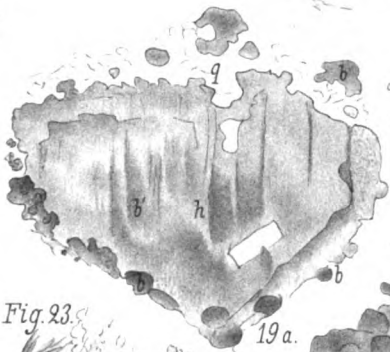


Digitized by Google



M. Schuster del.

Lith. Inst. v. A. Henry Bonn

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 1.

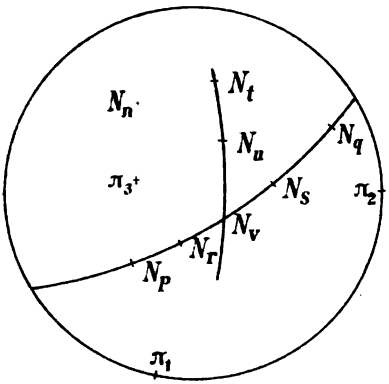



Fig. 2.

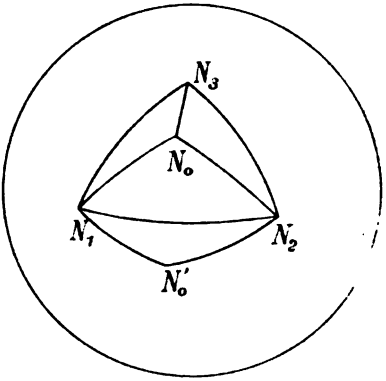



Fig. 3.

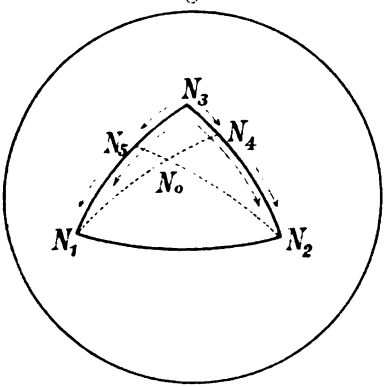



Fig. 4.

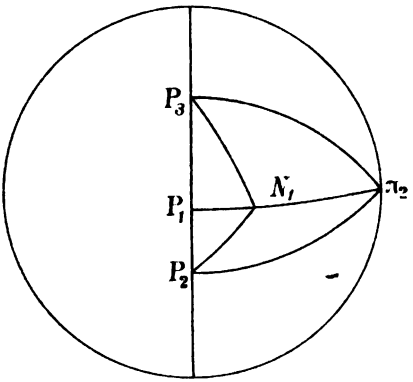



Fig. 5.

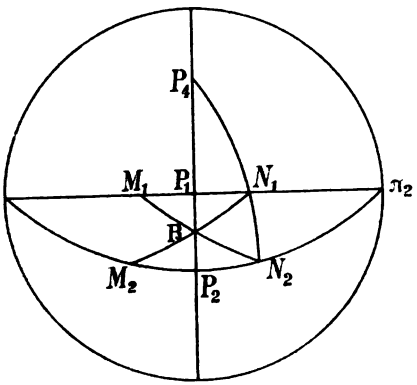
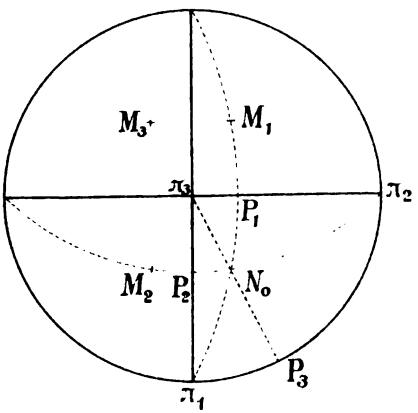
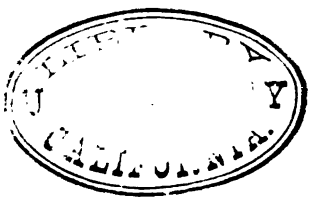



Fig. 6.




Digitized by Google



Digitized by Google

Fig. 7.

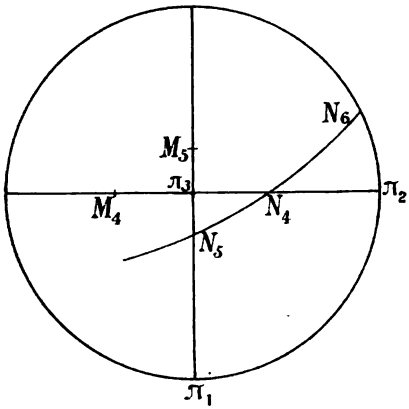



Fig. 8.

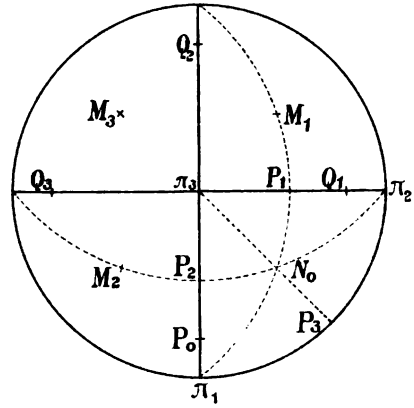



Fig. 9.

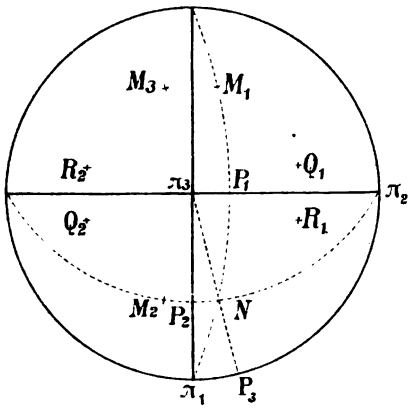



Fig. 10.

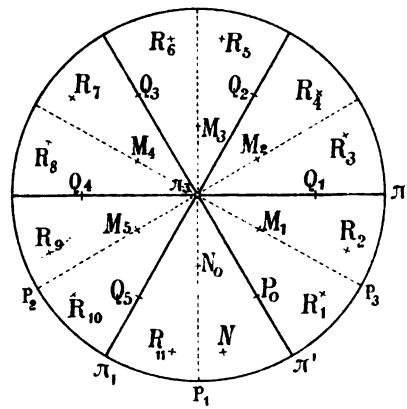



Fig. 11.

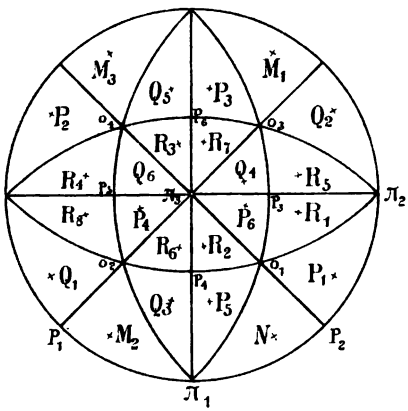
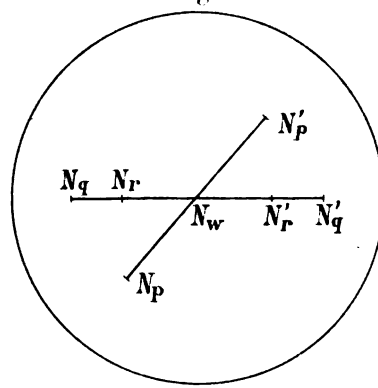



Fig. 12.




Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

14 DAY USE
RETURN TO DESK FROM WHICH BORROWED
EARTH SCIENCES LIBRARY
This book is due on the last date stamped below, or
on the date to which renewed.
Renewed books are subject to immediate recall.

NRLF LIBRARY USE SEP 19 '90

LD 21–40m-10,'65
(F7763s10)476

General Library
University of California
Berkeley

Digitized by Google